

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

\_\_\_\_\_ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

## ДИПЛОМНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

«Механізація вирощування гречки з обґрунтуванням конструкції висівного апарату зернової сівалки»

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,  
групи AI-24M-1

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Фостенко Артур Вікторович

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

\_\_\_\_\_ Олександр НЕСТЕРЕНКО

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Рецензент

професор, докт. техн. наук

\_\_\_\_\_ Ігор ШЕПЕЛЕНКО

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

м. Кропивницький

# Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет: АГРОТЕХНІЧНИЙ

Кафедра: СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

Рівень вищої освіти: МАГІСТР

Галузь знань: «СІЛЬСЬКЕ, ЛІСОВЕ, РИБНЕ ГОСПОДАРСТВО ТА  
ВЕТЕРИНАРНА МЕДИЦИНА»

Освітньо-професійна програма: Н7 «АГРОІНЖЕНЕРІЯ»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 року

## **ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА**

**Фостенка Артура Вікторовича**

1. Тема роботи: «Механізація вирощування гречки з обґрунтуванням конструкції висівного апарату зернової сівалки»
2. Керівник роботи: Нестеренко О.В., канд. техн. наук, доцент
3. Строк подання студентом роботи до захисту: 24.12.2025 року
4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи: підвищення ефективності технології вирощування гречки шляхом вдосконалення конструкції висівного апарату сівалки та покращення якісних показників висіву.
5. Перелік ілюстративного матеріалу 1. Огляд висівних апаратів; 2. Технологічна карта на вирощування гречки; 3. Загальний вигляд сівалки УЗТС-3,6; 4. Аналіз теоретичних досліджень; 5. Експериментальна установка. 6. Результати експериментальних досліджень. 7. Складальне креслення вузла та деталювання



## АНОТАЦІЯ

**Тема: «Механізація вирощування гречки з обґрунтуванням конструкції висівного апарату зернової сівалки»**

**Ключові слова: насіння гречки; висівний апарат; рівномірність розподілу;**

Дипломна робота спрямована на підвищення ефективності вирощування гречки шляхом вдосконалення висівного апарату зернової сівалки та покращення рівномірності висіву насіння.

Проведений аналіз технології вирощування гречки та огляд конструкцій висівних апаратів на основі яких розроблено пропозиції по вдосконаленню.

Виконані теоретичні та експериментальні дослідження на основі яких обґрунтовано раціональні конструктивні параметри висівного апарату сівалки, зернової катушки для покращення захоплення та утримання на своїй поверхні насіння гречки при видаленні з висівного апарату під час роботи сівалки.

Запропонована конструкція забезпечує покращення рівномірності висіву насіння гречки, що дозволяє підвищити врожайність культури до 16 ц/га.

## ABSTRAKT

**Topic: «Mechanization of buckwheat cultivation with justification of the design of the sowing apparatus of a grain seeder»**

**Key words: buckwheat seeds; sowing machine; even distribution**

The thesis is aimed at increasing the efficiency of buckwheat cultivation by improving the seeding device of the grain seeder and improving the uniformity of seeding.

An analysis of buckwheat growing technology and a review of the designs of seeding machines were conducted, based on which proposals for improvement were developed.

Theoretical and experimental studies have been carried out, on the basis of which rational design parameters of the seeding device of the seeder and the grain reel have been substantiated to improve the capture and retention of buckwheat seeds on their surface when removed from the seeding device during the operation of the seeder.

The proposed design provides improved uniformity of buckwheat seed sowing, which allows to increase the crop yield up to 16 c / ha.

## Зміст

1. Вступ.....	5
2. Стан технології вирощування гречки в господарстві та обґрунтування напряму досліджень.....	7
3. Наукова частина .....	18
4. Практична реалізація результатів досліджень висівного апарату.....	43
5. Охорона праці.....	48
6. Загальні висновки.....	50
Список використаних джерел.....	51
Додатки.....	53

## 1. ВСТУП

Сучасний розвиток аграрного виробництва вимагає постійного вдосконалення технологій вирощування сільськогосподарських культур із метою підвищення їх продуктивності, стабільності врожаю та ефективності використання матеріально-технічних ресурсів.

Особливе значення в цьому контексті має удосконалення технічних засобів, що забезпечують виконання ключових технологічних операцій, зокрема сівби, від якості якої значною мірою залежить подальший розвиток рослин і реалізація біологічного потенціалу культури.

Гречка належить до важливих круп'яних культур, що відіграють помітну роль у формуванні продовольчої безпеки та раціонального харчування населення. Вона відзначається високою поживною цінністю зерна, коротким вегетаційним періодом, здатністю адаптуватися до різних ґрунтово-кліматичних умов і порівняно невисокими вимогами до рівня агрохімічного забезпечення [1].

Водночас урожайність гречки залишається нестійкою, що зумовлено як біологічними особливостями культури, так і недостатньою відповідністю існуючих елементів технології її вирощування сучасним виробничим умовам.

Одним із визначальних чинників формування врожаю гречки є рівномірність розміщення насіння в ґрунті та дотримання оптимальних параметрів сівби [1]. Насіння гречки має складну геометричну форму, значну варіацію розмірів і підвищену чутливість до механічних пошкоджень, що істотно ускладнює процес його дозування та транспортування у висівних системах.

Недостатня адаптованість конструкцій висівних апаратів до фізико-механічних властивостей насіння гречки призводить до нерівномірного розподілу насіння по довжині рядка, перевитрати посівного матеріалу та зниження польової схожості [7, 8].

За таких умов навіть дотримання рекомендованих агротехнічних заходів не дозволяє повною мірою реалізувати потенціал культури, а економічна ефективність її вирощування знижується.

У зв'язку з цим особливої актуальності набувають дослідження, спрямовані на вдосконалення процесу сівби гречки шляхом модернізації конструкції висівного апарату зернової сівалки та обґрунтування раціональних параметрів його роботи.

Підвищення рівномірності висіву, зменшення травмування насіння та забезпечення стабільної подачі посівного матеріалу є важливими передумовами формування оптимальної густоти стояння рослин і підвищення врожайності культури [7, 8].

Таким чином, дослідження, присвячені підвищенню ефективності вирощування гречки на основі вдосконалення процесу сівби та конструкції висівного апарату зернової сівалки, є актуальними та мають важливе наукове і практичне значення.

## 2. СТАН ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ГРЕЧКИ В ГОСПОДАРСТВІ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1. Загальна характеристика гречки та його технології вирощування

Гречка володіє значним господарським потенціалом. Вона представляє собою високоцінну культуру як для харчування людини, так і для годівлі тварин [1]. При цьому, гречка є продуктивною медоносною рослиною і у регіонах, де розташовані її посівні площі, гречаний мед становить основну частину товарного медового асортименту [1, 2].

Згідно з дослідженнями Інституту бджільництва, 1 га посівної площі гречки забезпечує у середньому виробництво 40-60 кг меду, а за оптимальних погодних умов 90-100 кг [3]. Паралельно з медозбором бджоли інтенсивніше здійснюють запилення квіток гречки і суттєво підвищують її врожайні показники [3].

Гречка має істотне агротехнічне значення. Завдяки пізнім термінам сівби та скоростиглості гречка функціонує як страхова культура для повторного посіву озимих посівів пшениці. Гречка виступає якісним попередником для багатьох зернових культур. Це пояснюється тим, що на ділянках, де гречка вирощується широкорядним методом, значно скорочується присутність бур'янів завдяки багаторазовим обробкам ґрунту та міжрядним культиваціям, а на звичайних рядкових посівах - через пригнічення бур'янової рослинності.

Культури, що розміщуються в сівозміні після гречки, отримують значно кращу забезпеченість фосфором і калієм, якими багаті післяжнивні залишки гречки.

Практичний досвід та виробнича діяльність підтверджують, що при застосуванні інтенсивних технологічних підходів гречка демонструє значний і потужний продуктивний потенціал у різноманітних ґрунтово-кліматичних зонах. В Україні наразі функціонує багато господарств, у яких врожайність гречки досягає 30-40 ц/га [3, 4].

Гречка - теплолюбна рослина (рис. 2.1). Вона здатна проростати лише за температурних умов не нижче 6-9°C, а дружнє проростання та поява сходів спостерігаються лише при 13-16°C [1-3]. Сходи демонструють чутливість до весняного похолодання; переносять температуру 2-4°C, гинуть при заморозках мінус 2-5°C. Дорослі рослинні організми більш чутливі до осінніх заморозків - листкові пластини та стебла пошкоджуються при мінус 2°C, а квіткові органи рослини гинуть навіть при мінус 1°C, що необхідно враховувати при післяжнивному культивуванні гречки[1-4] .

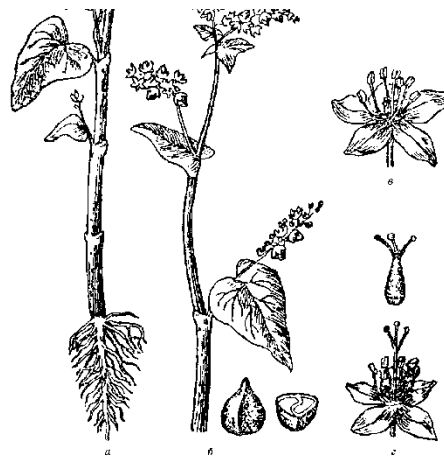


Рис. 2.1. Загальний вигляд гречки.

Сумарна ефективна температура для скоростиглих сортів гречки приблизно 850°C, для середньо- та пізньостиглих - понад 1300°C [3, 4].

Гречка є вологолюбною рослиною. Вона потребує вологи значно більше порівняно із просом та вдвічі більше порівняно з пшеницею.

Для формування врожаю гречки 25 ц/га та соломи 55 ц/га їй необхідно до 3600 т води [4]. Посіви гречки повинні мати забезпечення вологою протягом всього вегетаційного періоду. Насіння в процесі проростання поглинає близько 60% води від його маси.

Вважається, що гречка невибаглива до ґрунтових умов. Підставою для цього виступає висока здатність кореневої системи гречки за інтенсивністю поглинання поживних елементів з важкорозчинних ґрунтових сполук перевищувати багато інших культур. Тому гречку доцільно вирощувати на

родючих ґрунтах, що сприяють значно кращому розвитку її кореневої системи, посиленню засвоєння і, як результат, формуванню високого врожаю.

Оптимальними для гречки виступають чорноземи та опідзолені ґрунти, що характеризуються підвищеною аерацією, добре утримують вологу та не схильні до заболочування, мають нейтральну реакцію ґрунтового розчину.

Добре розвивається гречка також на легких глинистих та піщаних, а також на окультурених торфових ґрунтах. Не рекомендується вирощувати гречку на ґрунтах занадто удобрених гноєм, на яких спостерігається швидке збагачення елементами живлення рослин, як наслідок надмірний розвиток вегетативної маси на шкоду формуванню зерна.

Гречка характеризується досить тривалим періодом цвітіння і плодоутворення. Першими зазвичай досягають стадії дозрівання плоди у суцвіттях нижнього ярусу рослин, а потім - верхнього. Перші плоди найбільш виповнені та найкраще сформовані, тому їх при сортуванні відбирають насамперед для насінневих цілей.

В Україні з районованих селекційних сортів гречки найбільш розповсюджені: Іванна, Кара-Даг, Аеліта, Київська, Українка, Орлиця, Роксолана, Степова та інші [3, 4]. Всі вони характеризуються високою врожайністю, придатні для вирощування за інтенсивною технологією.

## **2.2. Аналіз технології вирощування гречки в господарстві**

Інтенсивна технологія вирощування гречки забезпечує високі врожайні показники та достатню економічну ефективність тільки в умовах високої культури землеробства, яка передбачає найбільш раціональне забезпечення рослинних організмів протягом вегетаційного періоду.

Попередники гречки. У системі агротехнічних заходів, які сприяють реалізації біологічного потенціалу гречки, значної уваги потребує розміщення її після оптимальних попередників. Практичний досвід господарств підтверджує, що після таких попередників, як зернобобові й озимі культури,

кукурудза, цукрові буряки і картопля, врожайність гречки виявляється на 20-35% вищою порівняно із розміщенням після вівса чи ячменю [3, 4].

Гречка виступає також якісним попередником для інших сільськогосподарських культур. Це пояснюється тим, що вона швидко росте, в умовах високої агротехніки формує гіллясті широколисті рослинні організми і пригнічує бур'янову рослинність.

**Обробіток ґрунту при вирощуванні гречки.** Обробіток ґрунту під гречку спрямований на створення сприятливих умов водного, повітряного та теплового і поживного режимів для оптимального формування кореневої системи та листків.

При посіві гречки після стерньових попередників основний обробіток ґрунту розпочинають з операції лушення стерні. При незначному засміченні однорічними бур'янами стерню обробляють дисковими луцильниками наприклад, ЛДГ-5, ЛДГ-10, ЛДГ-15 (рис. 2.2) на глибину 6-9 см. Якщо поля сильно засмічені, першого разу дискують на глибину 6-9 см, а другий - полицевими луцильниками (ППЛ-10-25) на глибину 12-14 см [3, 6].

Оранку здійснюють плугами з передплужниками після масової появи сходів бур'янів на глибину 20-24 см, багаторічних 24-27 см, а на ґрунтах з недостатньо глибоким орним шаром на глибину його залягання.



Рис. 2.2. Дисковий луцильник ЛДГ-15 (Умань фермаш)

Навесні проводять закриття вологи шляхом боронування (БЗСС-1, БЗТС-1 в 2-3 сліди на глибину 3-5 см та приступають до культивуації.

Першу культивуацію культиваторами с, КПП-4 з боронуванням (БЗТС-1) здійснюють на глибину 10-14 см, другу (передпосівну) - до 8 см культиваторами УСМК-5,4 [3].



Рис. 2.3 Культиватор причіпний КПС-4

**Система удобрення.** При формуванні врожаю близько 25 ц/га гречка виносить з ґрунту до 95 кг азоту, 65 кг фосфору та понад 160 кг калію. Тому гречка досить вимоглива до внесення добрив. Враховуючи те, що гречка позитивно реагує на післядію органічних добрив, внесених під попередник, її удобряють лише мінеральними добривами. Встановлено, що мінеральні добрива ефективніші при нейтральній реакції ґрунтового розчину та широкорядному вирощуванні гречки: рослини достатньо добре гілкуються, формують більшу листкову поверхню і забезпечують вищі врожайні показники.

Середні норми мінеральних добрив під посів гречки залежно від родючості ґрунту та попередника становлять в межах N30-70, P45-70 і K30-70 кг/га [6]. З них фосфорні і калійні добрива вносять зазвичай під основний обробіток ґрунту, азотні як правило, під першу весняну культивуацію.

Якщо добрива до сівби гречки не внесені, то її підживлюють на початку бутонізації азотно-фосфорними добривами у дозі від 20 до 30 кг/га азоту та

фосфору; на бідних ґрунтах - повним мінеральним добривом з внесенням по 30 кг/га азоту, фосфору та калію [3, 6].

Перед сівбою насіння протруюють вітаваксом, фундазолом, витрачаючи на 1 т насіння по 2-4 кг одного з препаратів, розчиненого в 5-12 л води [3, 6].

Рекомендують одночасно із протруєнням обробляти насіння гречки препаратом ТУР (1,5 кг/т за діючою речовиною), що підвищує стійкість рослин проти вилягання.

**Сівба.** Сіють гречку, коли ґрунт на глибині 8-12 см прогріється до стійкої температури 10-14°C, переважно рядковим або широкорядним способом із шириною міжрядь відповідно 15 та 45 см [3, 6].

При рядковій сівбі висівають з нормою висіву 65-120 кг/га в залежності від зони, як правило, зерновими сівалками типу СЗТ (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Сівалка ASTRA NOVA 5,4 (ELVORTI)

Від глибини закладання насіння залежить час появи сходів гречки, формування її кореневої системи та функціонування. При загортанні насіння на глибину до 4 см сходи з'являються дещо раніше, вторинна коренева система формується на одному рівні з первинною, що значно сприяє нормальному забезпеченню рослин вологою та поживними речовинами.

**Догляд за посівами.** Догляд за посівами гречки, висіяної в недостатньо вологий ґрунт, розпочинають з післяпосівного коткування ґрунту кільчасто-шпоровими котками ЗККШ-6, щоб створити для насіння найбільш сприятливі умови зволоження. Цей прийом особливо цінний у районах недостатнього зволоження.

При появі у рослин гречки першого справжнього листка посіви боронують упоперек рядків або під кутом до них для знищення бур'янів. Міжрядний обробіток посівів, підживлення й захист рослин проводять шляхом застосування культиваторів типу УСМК-5,4 (Уманьфермаш) (рис. 2.5) [3, 6].

Розпушування міжрядь при появі у рослин першого справжнього листка проводять на глибину 5-7 см, другий - на початку бутонізації на глибину 7-9 см, третій на початку цвітіння на глибину 6-9 см. При третьому обробітку міжрядь гречки в рядках підгортають, знищуючи таким чином бур'яни в захисних зонах.



Рис. 2.5. Культиватор УСМК-5,4 (Уманьфермаш)

На насінницьких ділянках проти дрібних шкідників (попелиці, листової блішки) здійснюють крайове обприскування посівів гречки у фазі бутонізації 45%-м метафосом у дозі 0,6-0,9 кг/га [3, 6].

Значному приросту врожаю гречки (3-6 ц/га) сприяє запилення бджолами. Бджолосім'ї (2-4 на 1 га) вивозять перед початком масового цвітіння рослин та розміщують вулики безпосередньо біля посівів гречки.

**Запилення гречки.** Запилення всіх ентомофільних сільськогосподарських культур виступає важливим фактором підвищення їхньої врожайності.

Головну роль в запиленні таких культур як гречка відіграють медоносні бджоли. Бджоли є єдиним фактором, який може контролюватися людиною.

Бджолозапилення сприяє підвищенню врожайності сільськогосподарських культур на 40-70% і навіть вище, залежно від виду рослин та умов запилення [1]. Крім того, підвищується якість плодів та насіння, збільшується їхня натуральна вага.

Підвищення врожайності гречки при запиленні квіток бджолами в середньому становить близько 40%.

Врожайність гречки та соняшнику знижувалася лише в роки зниження активності бджіл (різкого скорочення кількості бджолиних сімей або ослаблення їхньої сили), що призводило до недостатнього запилення рослин.

Виходячи з цього та з досвіду зарубіжних країн, бджолозапилення повинно бути узаконеним агрономічним прийомом технології вирощування ентомофільних сільськогосподарських культур. У низці країн Східної Європи (Словаччина, Німеччина та інші), а також в США законодавством передбачений такий агроприйом і обов'язкова орендна плата за використання бджіл на запиленні [1, 6].

Тому в проектній технології пропонуємо встановлення пасіки біля полів гречки до початку цвітіння з розрахунку 1 бджолосім'ї на 2 га.

$$K = Q_z \cdot n = 100 \cdot 2 = 50 \text{ бджоло сімей}$$

де  $Q_z$  – площа уна якій вирощується гречка, га

$n$  - кількість бджоло сімей на 1 га посівів;

**Збирання гречки.** Щоб запобігти обсіпанню цінного достиглого зерна, до роздільного збирання гречки приступають при побурінні 70-80% плодів.

Вже через 4-7 днів після скошування, коли вологість вегетативної маси стане не більше 30-40%, а стиглого зерна 16-19%, підсохлі валки збирають комбайнами, регулюючи число обертів молотильного барабана.

Для виконання цієї операції в господарстві використовується зернозбиральний комбайн Claas Trion. Збирання врожаю проводиться шляхом прямого комбайнування.



Рис. 2.6. Комбайн Claas Trion

Після обмолоту зерно просушують до вологості 14-15%, за якої воно достатньо добре зберігається.

### **2.3. Пропозиції по вдосконаленню технології вирощування гречки**

Проаналізувавши технологію вирощування гречки можна зробити висновки про важливість і актуальність використання цієї культури в господарстві для отримання високих врожаїв необхідно інтенсифікувати деякі процеси росту та догляду.

Слід зазначити, що одним з важливих етапів вирощування гречки є сівба, від якої залежать більшість операцій з її догляду і отримання високого врожаю.

При цьому важливим фактором є рівномірність висіву, яка враховуючи дрібнозернистість гречки буде впливати на площу живлення рослини та її водообмін. Тому, основним завданням при вирощуванні гречки є застосування найбільш оптимального висіву з рівномірним розподілом насіння в рядку.

## 2.4. Обґрунтування операційної карти при сівбі гречки

Табл. 2.1 – Характеристика умов виконання операції сівби

№	Показники операції	Ознаки показників
1	Засіб агрегування	МТЗ-80
2	Сівалка	Універсальна сівалкаУЗТС-3,6
3	Площа поля для посіву, га	80,0
4	Довжина гонів, L м	820
5	Стан поля	Готовий до посіву
6	Кут підйому, %	до 10
7	Сорт гречки	Аеліта

### Агротехнічні вимоги до операції сівби.

Однією з важливих агробіологічних особливостей гречки є її здатність витримувати короткочасне зниження температури повітря до  $-6^{\circ}\text{C}$ , що створює передумови для ранніх строків сівби. Завдяки цій властивості висів культури можливий уже в березні–квітні за умови прогрівання верхнього шару ґрунту до температури  $6-8^{\circ}\text{C}$ .

Для забезпечення дружних сходів та високої польової схожості посівний матеріал повинен відповідати вимогам першого класу та проходити передпосівну обробку бактеріальним препаратом Ризоторфін. Тривалість проведення сівби на окремому полі не повинна перевищувати трьох діб [3, 6].

Якість виконання операції сівби визначається дотриманням установлених агротехнічних показників. Зокрема, допустиме відхилення фактичної глибини загортання насіння гречки від заданого значення не має перевищувати 16 %, а коливання норми висіву  $\pm 3\%$ .

Нерівномірність подачі насіння окремими висівними апаратами сівалки повинна знаходитися в межах до 3 %. Відхилення ширини стикових міжрядь між суміжними сівалками та між суміжними проходами агрегату допускаються відповідно не більше  $\pm 2\text{ см}$  і  $\pm 5\text{ см}$  [3, 6].

Поява огріхів, а також наявність незасіяних ділянок, зокрема поворотних смуг, у процесі виконання сівби є неприпустимими.

### Комплектування й підготовка посівного агрегату до роботи.

Підготовчі операції, пов'язані з приведенням трактора та зернової сівалки у робочий стан, формуванням машинно-тракторного агрегату та виконанням контрольних перевірок, здійснюються відповідно до вимог експлуатаційної документації та чинних агротехнічних норм.

До початку посівних робіт, а також після їх завершення, сівалка підлягає обов'язковому щозмінному технічному обслуговуванню з метою забезпечення її надійної та безпечної роботи.

Перед виїздом агрегату в поле сівалку встановлюють на спеціально обладнаному регульовальному майданчику, де виконують налаштування робочих органів відповідно до заданої ширини міжрядь. Одночасно проводиться перевірка її укомплектованості, справності висівних апаратів, сошників та інших відповідальних вузлів, а також оцінюється їх технічний стан.

Регулювання подачі насіння і мінеральних добрив здійснюють згідно з установленими нормами висіву, що забезпечує відповідність фактичних параметрів сівби агротехнічним вимогам вирощування гречки. Кількість сівалок, що агрегуються з конкретною маркою трактора, визначається з урахуванням умов раціонального використання його тягових можливостей.

### **Висновки до розділу**

На основі проведеного аналізу було виконано розрахунки технологічної карти посіву культури. Як посівний матеріал для регіону обрано сорт «Аеліта», який демонструє найкращу адаптацію до природно-кліматичних умов та планову врожайність на рівні 16 ц/га.

Відповідно до завдання дослідження було обґрунтовано параметри операції сівби, проведено технологічні розрахунки з урахуванням агротехнічних вимог. Сівба здійснюється агрегатом у складі трактора МТЗ-80 та сівалки УЗТС-3,6 з робочою шириною захвату 3,6 м.

За результатами розрахунків рекомендовано виконувати посів гречки на площі 80 га зазначеним агрегатом при роботі на п'ятій передачі. Розроблені технологічні розрахунки використані для формування операційно-технологічної карти, що подана у графічній частині роботи.

### 3. НАУКОВА ЧАСТИНА

#### 3.1. Загальна характеристика наукової частини роботи

**Мета роботи:** підвищення якісних показників висіву насіння шляхом вдосконалення конструкції висівного апарату сівалки та покращення ефективності технології вирощування гречки.

**Задачі досліджень:**

1. Виконати огляд та аналіз катушкових висівних апаратів.
2. Провести теоретичний аналіз рівномірності розподілу зернового матеріалу катушковим висівним апаратом.
3. Обґрунтувати раціональні параметри та режими роботи внутрішньо реберчастого катушкового висівного апарату.

**Предмет досліджень** – внутрішньо реберчастий катушковий висівний апарату для висіву насіння гречки.

**Об'єкт досліджень** - процес розподілу насіння гречки в рядку внутрішньо реберчастим катушковим висівним апаратом.

#### 3.2. Програма і методика експериментальних досліджень

- дослідження показників рівномірності розміщення насіння гречки в рядку, зокрема насіння дрібної та середньої фракції, при використанні внутрішньоребристих висівних апаратів удосконаленої конструкції;

- порівняння експериментальних результатів, отриманих у процесі досліджень модернізованого висівного апарату, з відповідними показниками базового зразка, прийнятого за прототип для проведення удосконалення.

#### 3.3. Огляд та аналіз катушкових висівних апаратів.

Ефективність процесу сівби зернових культур значною мірою визначається конструкцією та принципом роботи висівного апарату, який є ключовим елементом зернової сівалки. Саме цей вузол забезпечує дозування, подачу та рівномірний розподіл насіння по рядках, а отже безпосередньо впливає на густоту стояння рослин, рівномірність сходів і подальший розвиток посівів.

Аналіз наукових публікацій і результатів досліджень показує, що існуючі конструкції зернових висівних апаратів можна умовно поділити на кілька основних груп залежно від принципу дії: котушкові, штифтові, дискові, щілинні, пневматичні та комбіновані. Кожен із зазначених типів має свої переваги й обмеження, які проявляються залежно від фізико-механічних властивостей насіння та умов експлуатації.

Найбільшого поширення в конструкціях зернових сівалок набули котушкові висівні апарати, що зумовлено їх конструктивною простотою та надійністю в роботі (рис. 3.1) [9]. Основним робочим елементом такого апарату є котушка, оснащена дванадцятьма поздовжніми жолобками, кількість яких відповідає числу ребер. Котушка закріплюється на валу та обертається всередині спеціальної насінневої коробки.

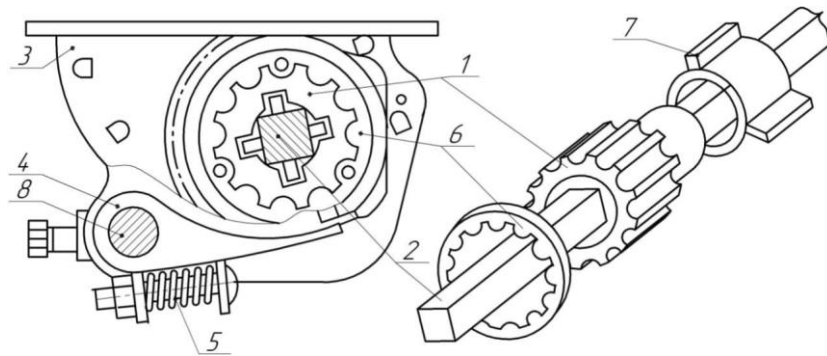


Рис. 3.1 Будова котушкового висівного апарату

Насіннева коробка монтується в нижній частині насінневого ящика, у дні якого виконані вікна, суміщені з її горловиною. Нижня частина коробки закрита підпружиненим клапаном, що виконує захисну функцію. Така конструктивна схема дозволяє запобігти пошкодженню як клапана, так і котушки у випадку потрапляння сторонніх включень у масу посівного матеріалу [9].

Дослідження показують, що такі апарати забезпечують задовільну рівномірність висіву зернових культур із однорідним насінням, однак при роботі з культурами, що мають неправильну форму зернівки та значну варіацію розмірів, ефективність їх роботи знижується. До недоліків котушкових апаратів також відносять підвищене травмування насіння та чутливість до зміни режимів роботи.

У конструкціях серійних зернових сівалок катушкові висівні апарати застосовуються також для одночасного висіву дрібнонасінневих культур, зокрема кормових трав. У таких випадках використовують катушки зменшених габаритів, які за своїми розмірами приблизно вдвічі менші порівняно зі стандартними робочими елементами, призначеними для зернових культур [9-11].

За аналогічною схемою функціонують катушкові висівні апарати сучасних зернових сівалок, оснащених варіаторними механізмами. Наявність варіаторів забезпечує плавне, безступінчасте регулювання частоти обертання катушок у широкому діапазоні робочих режимів. За таких умов відпадає необхідність у зміні довжини активної частини катушки, що, у свою чергу, сприяє спрощенню конструкції висівного апарату загалом.

Крім того, використання варіаторного приводу створює передумови для застосування катушок із криволінійною формою ребер і жолобків. У ряді конструктивних рішень також передбачене використання комбінованих катушок, які відрізняються між собою розмірами, геометрією та співвідношенням ширини робочих поверхонь, що вони займають (рис. 3.2) [9].

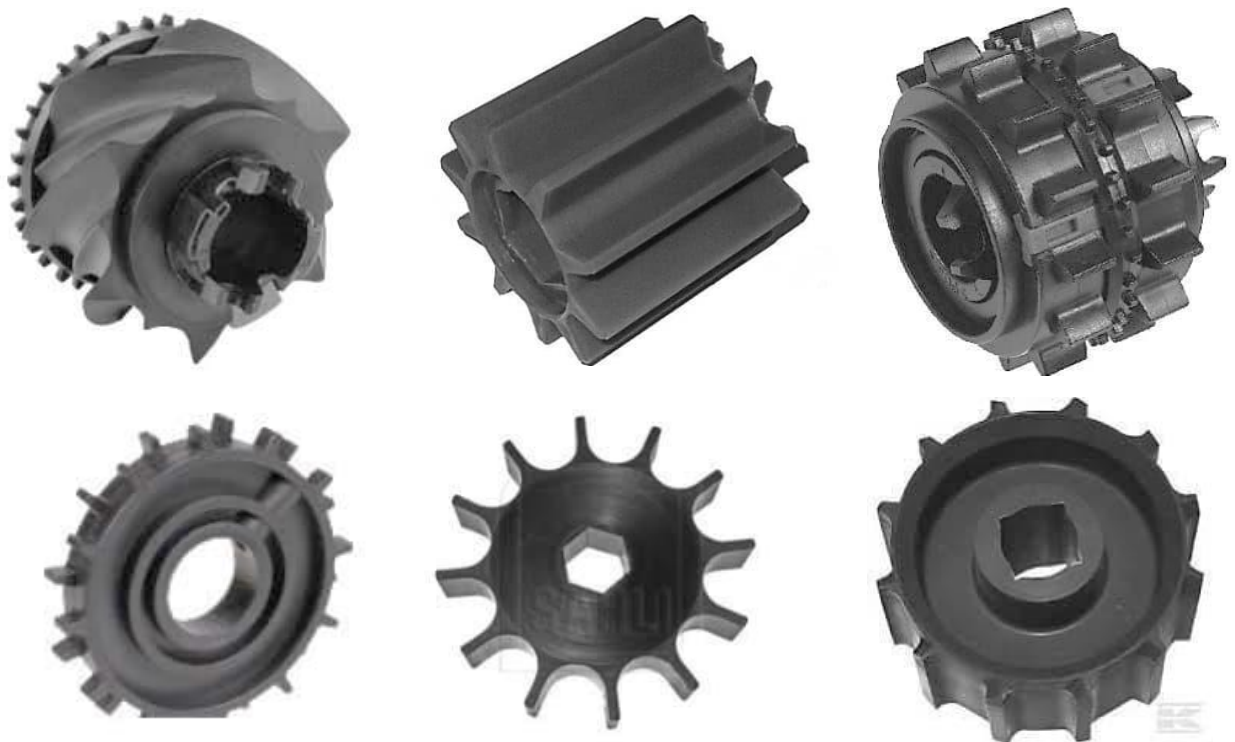


Рис. 3.2. Катушки зернових висівних апаратів

Штифтові висівні апарати характеризуються більш м'яким захопленням насіння та зменшеним рівнем його механічного пошкодження (рис. 3.3). Проте результати експериментальних досліджень свідчать, що стабільність норми висіву в таких апаратах значною мірою залежить від рівня заповнення насіннєвого ящика та швидкості обертання робочого органу [9]. Це ускладнює їх застосування в умовах змінного рельєфу поля та нерівномірного навантаження агрегату.

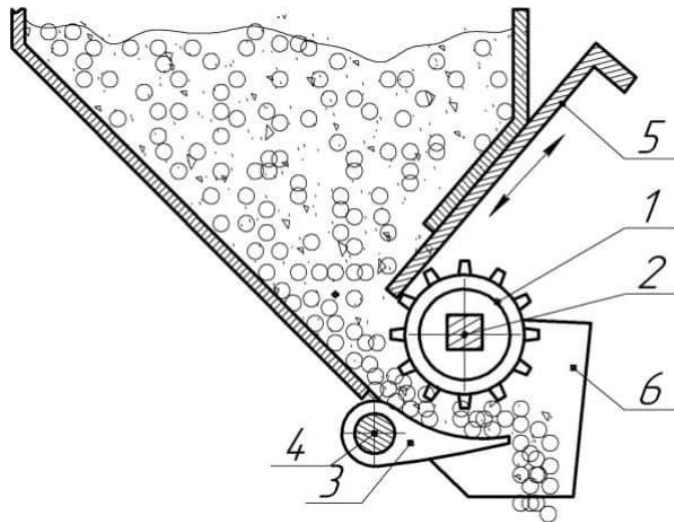


Рис. 3.3. Схема котушково-штифтового висівного апарату:

- 1 – штифтова катушка; 2 – вал катушок; 3 – клапан; 4 – вал;  
5 – заслінка; 6 – лійка

Дискові та щілинні висівні апарати забезпечують більш точне дозування насіння, особливо при малих нормах висіву. Водночас вони вимагають ретельного підбору параметрів робочих органів під конкретну культуру, що обмежує їх універсальність. Дослідниками відзначається, що за відхилень у розмірах насіння або його підвищеної вологості можливе погіршення рівномірності подачі та виникнення пропусків [9-11].

Окрему групу становлять пневматичні висівні апарати, які використовують повітряний потік для транспортування та дозування насіння.

Такі системи забезпечують високу точність висіву та мінімальне пошкодження насіння, проте відрізняються складністю конструкції, підвищеними енергетичними витратами та вимогами до технічного

обслуговування. З огляду на це їх застосування переважно обмежується просапними культурами або високоточними сівалками.

У сучасних дослідженнях значна увага приділяється комбінованим висівним апаратам, у яких поєднуються елементи механічного та пневматичного дозування. Такі конструктивні рішення дозволяють підвищити стабільність подачі насіння та зменшити негативний вплив коливань швидкості руху агрегату [9-11]. Разом із тим більшість наявних розробок перебуває на стадії експериментального впровадження і потребує подальшого техніко-економічного обґрунтування.

Авторами [17] запропонована конструкція катушкового висівного апарату (рис. 3.4), в якій підвищення рівномірності подачі насіння забезпечується завдяки конструктивному вдосконаленню.

Зубчастий пас змонтований на окремих валах у корпусі апарату таким чином, що його жолобки зміщені відносно жолобків висівної катушки на половину кроку. Привідний вал паса кінематично зв'язаний із приводом катушки, у результаті чого забезпечується поступальний рух жолобків паса зі швидкістю, яка дорівнює коловій швидкості переміщення жолобків катушки.

Така узгодженість руху робочих елементів сприяє більш стабільному та рівномірному розподілу зернового матеріалу в процесі висіву [17].

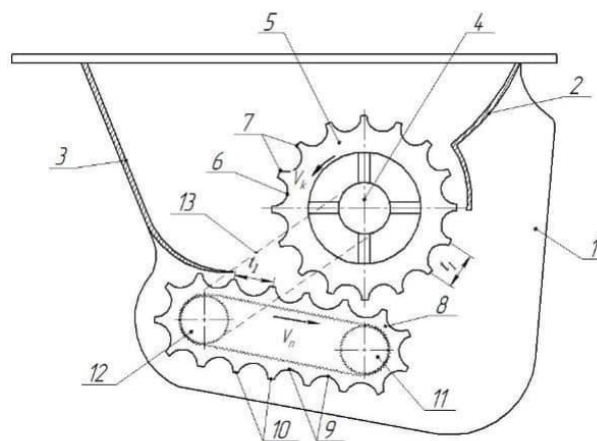


Рис. 3.4. Схема катушкового висівного апарату

1 – боковини катушки; 2, 3 – передня та задня стінки; 4 – привідний вал;  
5 – катушка; 6, 9 – жолобки; 7, 10 – виступи катушки; 8 – клапан; 11, 12 – вали;  
13 – ланцюгова передача.

Поряд із котушковими механізмами в різні періоди були запропоновані й інші конструктивні схеми висівних апаратів, зокрема мотилькового, ложкового та низки інших типів. Проте через складність конструкції, обмежену універсальність або недостатню надійність вони не набули широкого впровадження і в сучасній практиці практично не використовуються.

Водночас у Сполучених Штатах Америки значного поширення набули висівні апарати внутрішньо реберчастого типу [11, 18]. За результатами досліджень, такі апарати забезпечують вищу якість розподілу насіння порівняно з традиційними жолобчастими котушковими механізмами. Зокрема, середнє значення нерівномірності висіву для внутрішньо реберчастих апаратів становить близько 3,0 %, тоді як для котушкових аналогів цей показник сягає приблизно 5,0 %.

Загальний вигляд і принципова схема внутрішньо реберчастого висівного апарата, виготовленого американською компанією «Massey Harris», наведені на рис. 3.7.

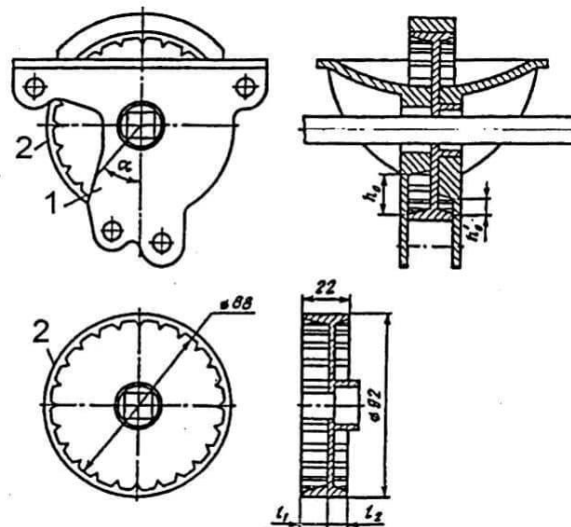


Рис. 3.7 Конструкція висівного внутрішньо реберчастого типу фірми «Массей Гарріс»

Відповідно до його конструктивного виконання (рис. 4.8), апарат складається з корпусу, утвореного двома литими боковими елементами та кришкою, між якими розміщується лите висівне кільце. З'єднання складових частин корпусу здійснюється за допомогою заклепок.

Особливістю такої конструкції є відсутність потреби в додаткових регулюваннях під час монтажу, встановлення на сівалку або підготовки до роботи. Крім того, порівняно з катушковими апаратами зі зсувною катушкою, внутрішньоребристі механізми відзначаються меншою металоємністю та зниженою трудомісткістю виготовлення [11, 18].

На рис. 3.8 показано схему внутрішньо реберчастого висівного апарата, розробленого конструкторами ВІМ і ГСКБ машин для посіву. Характерною особливістю цієї конструкції є наявність додаткового клапана, призначеного для видалення залишків насіння з корпусу, а також застосування висівного кільця з похилими робочими елементами [11].

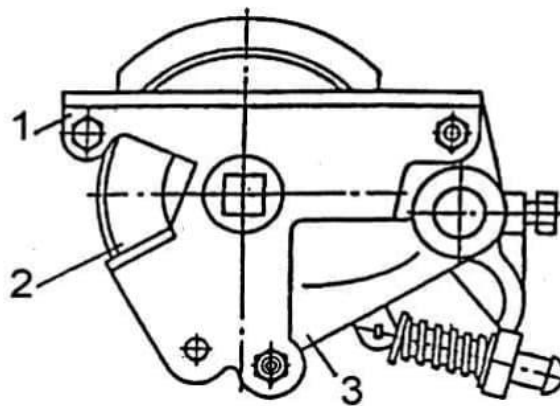


Рис. 3.8. Конструкція внутрішньо реберчастого висівного апарату сівалки СРВ-3,6: 1- коробка; 2-кільце для висіва; 3- клапанний механізм

З метою підвищення точності дозування та спрощення приводу шляхом усунення багатоступінчастої коробки передач були запропоновані внутрішньоребристі апарати з можливістю регулювання ширини кільця.

Аналіз наукових праць вітчизняних і зарубіжних дослідників, присвячених висівним апаратам для рядкових зернових сівалок, дозволяє зробити висновок, що на сучасному етапі основну конкуренцію в цій галузі становлять катушкові та внутрішньо реберчасті системи. Порівняно з катушковими механізмами, внутрішньо реберчасті апарати мають низку суттєвих переваг, серед яких: спрощена конструкція та обслуговування,

підвищена стабільність і рівномірність висіву, відсутність травмування насіння, а також ширші можливості універсального застосування.

Водночас дослідження внутрішньо реберчастих висівних апаратів залишаються недостатніми як у конструктивному, так і в технологічному аспектах.

Аналіз результатів досліджень свідчить, що значна частина зернових висівних апаратів проєктувалася з урахуванням властивостей пшениці, ячменю та інших традиційних зернових культур. Для культур із нестандартною формою насіння, зокрема гречки, існуючі конструкції не завжди забезпечують необхідний рівень рівномірності висіву та збереження посівних якостей.

Це обумовлює потребу в адаптації або модернізації робочих органів висівних апаратів з урахуванням специфічних фізико-механічних характеристик насіння.

Таким чином, результати проведеного огляду підтверджують доцільність подальших досліджень, спрямованих на вдосконалення конструкції висівного апарату зернової сівалки. Основними напрямками таких досліджень є підвищення рівномірності дозування, зменшення травмування насіння та забезпечення стабільної роботи апарату в широкому діапазоні режимів експлуатації. Реалізація зазначених завдань є важливою передумовою підвищення ефективності процесу сівби.

### **3.2. Теоретичний аналіз досліджень підвищення рівномірності зернового потоку**

Технологічний процес висівання насіння катушковим висівним апаратом характеризується формуванням двох основних типів потоків: активного та примусового. Обертальний рух катушки не лише забезпечує примусове переміщення зернового матеріалу з жолобків, але й генерує імпульс, що передається нижнім шарам насіння, ініціюючи їх рух до вихідного отвору за рахунок сил тертя.

Обидва типи зернових потоків вносять приблизно рівний внесок у загальний процес висіву, однак механізми їх формування суттєво відрізняються. Це зумовлює необхідність детального аналізу технологічного процесу з окремим розглядом кожного потоку для визначення можливостей підвищення рівномірності висіву.

Розглянемо випадок послідовного випадання зернового матеріалу з активного шару. Припустимо існування умовної площини, яка розмежує зернові потоки та запобігає їх взаємному перекриттю як усередині висівного апарату, так і на виході.

Представимо розподіл зернового матеріалу на ділянці довжиною  $L$  через послідовність точок  $t_0, t_1, t_2, \dots, t_n$  та проаналізуємо зерновий потік однорідних подій, використовуючи теорію мас [20].

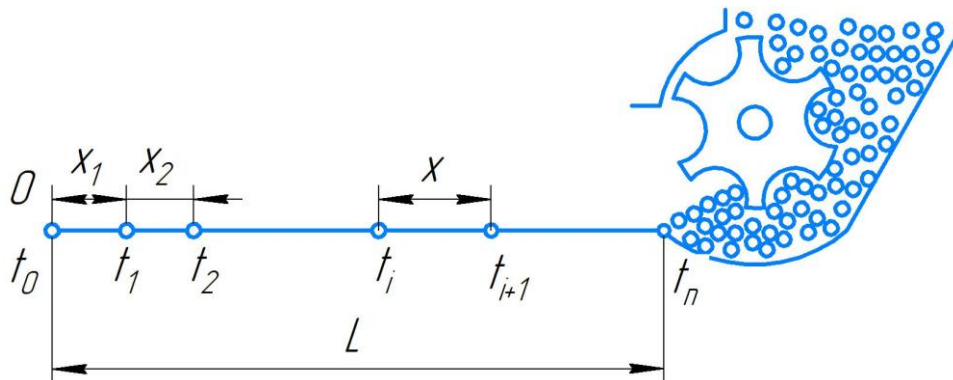


Рис. 3.9 Розподіл зернового матеріалу у активному потоці

За умови достатньої кількості висіяного насіння  $N$  на ділянці  $L$ , середня відстань між зернами становить  $l_c$ , а середнє число насінин на одиницю довжини, тобто густина зернового потоку, визначається співвідношенням:

$$\lambda_n = \frac{L}{l_c}.$$

Дослідники встановили, що активний зерновий потік характеризується властивостями стаціонарності, відсутності післядії та ординарності. Це вказує на те, що досліджуваний процес описується найпростішим стаціонарним пуассонівським потоком випадкових подій.

У такому випадку ймовірність потрапляння певної кількості зернового матеріалу  $g$  на окрему ділянку довжиною  $k$  описується законом Пуассона [20]:

$$N_g = (\lambda_n k)^g / g! e^{-\lambda_n k} \quad (3.1)$$

де  $\lambda_n k$  - параметр закону Пуассона. Якщо прийняти  $\lambda_n k = d$  то отримаємо:

$$N_g = d^g e^{-d} / g! \quad (3.2)$$

Для пуассонівського потоку математичне сподівання та дисперсія випадкової величини відповідають параметру закону Пуассона:

$$g_x = D_x = \lambda_n k \quad (3.3)$$

Отже, для якісної оцінки розподілу зернового матеріалу вздовж рядка необхідно визначити характер розподілу інтервалів між насінинами.

Функція розподілу інтервалів між зернами.

Відстань між сусідніми насінинами у рядку  $X_i$  є випадковою величиною в стохастичному потоці. Функція розподілу інтервалів між зернами визначається як:

$$F_{(x)} = N(X_i < x) \quad (3.4)$$

Ця функція представляє ймовірність того, що інтервал  $X$  між випаданням двох сусідніх насінин буде меншим за  $x$ .

Відповідно, ймовірність потрапляння щонайменше однієї насінини в інтервал довжиною  $x$  дорівнює:

$$N(X_i < x) = k - N(X_i > x) \quad (3.5)$$

Оскільки сума ймовірностей протилежних подій дорівнює одиниці, ймовірність відсутності зерна на ділянці  $x$  визначається формулою:

$$N_g = (\lambda_n k)^g / g! e^{-\lambda_n k} \quad (3.6)$$

де:  $g=0$ , тоді:

$$N_0(x) = e^{-\lambda_n x} \quad (3.7)$$

Звідси функція розподілу інтервалів між насінинами:

$$F(x)=k \cdot e^{-\lambda x}, (x>0) \quad (3.8)$$

Густина розподілу ймовірностей:

$$F(x)=\lambda_n e^{-\lambda x} \quad (3.9)$$

Цей закон розподілу за густиною називається показниковим (експоненціальним) законом розподілу, де  $\lambda_n$  є його параметром.

Для показникового закону встановлено:

$$M_x=\sigma_x=1/\lambda_n = k_c \quad (3.10)$$

Це означає, що середньоквадратичне відхилення випадкової величини дорівнює її математичному сподіванню.

Коефіцієнт варіації інтервалів між зернами визначається як:

$$S=(\sigma_x/m_x)100=(k_c/k_c)100=100\% \quad (3.11)$$

Висновок щодо активного потоку

Проведений аналіз рівномірності насінневого потоку за умови активного руху насіння дозволяє стверджувати, що розподіл інтервалів між зернами підпорядковується показниковому закону, при цьому коефіцієнт варіації як показник рівномірності розподілу інтервалів між зернами наближається до максимального значення 100%.

Аналіз примусового зернового потоку.

Розглянемо потік зернового матеріалу, що формується шляхом примусового руху, та проаналізуємо формування інтервалів між насінинами на виході з висівного апарату.

Численні дослідження вказують на те, що висівання через жолобки котушки створює порційність подачі, яка частково компенсується активним шаром насіння.

Однак за відсутності активного зернового шару висів виключно через примусовий рух призводить до викидання насіння окремими порціями зі значними проміжками між ними.

Внаслідок цього густина зернового потоку вздовж рядка може періодично змінюватися, порушуючи властивість стаціонарності, характерну для простого пуассонівського потоку.

Такий тип зернового потоку класифікується як нестационарний пуассонівський потік, основною характеристикою якого є миттєва густина  $\lambda(x)$  (рис. 3.10) [20].

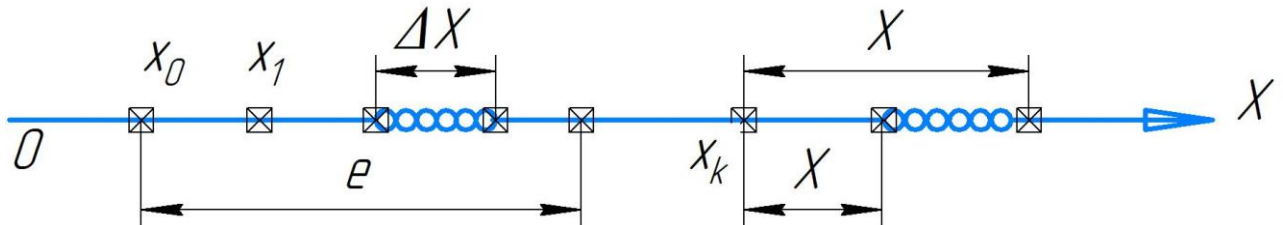


Рис. 3.10. Розподіл насінин в примусовому потоці

Миттєву густину висіяних зернин можна виразити як граничне відношення середнього числа насінин на елементарному відрізку  $\Delta x$  до довжини цього відрізка:

$$\Delta(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} (j(x+\Delta x) - j(x)) / \Delta x = j'(x) \quad (3.12)$$

де  $j'(x)$  - математичне сподівання кількості насінин на розглядуваній ділянці.

У цьому випадку кількість подій (насінин), що потрапляють на ділянку  $k$ , також підпорядковується закону Пуассона [20]:

$$P_{j(l,x)} = (b^j / j!) e^{-b} \quad j=0,1,2,\dots$$

де  $b$  - математичне сподівання кількості зерен на ділянці від  $x_0$  до  $(x_0 + l)$ :

$$b = \int_{x_0}^{x_0+l} \lambda_n(x) dx \quad (3.13)$$

Функція розподілу інтервалу  $X$  має вигляд:

$$F_{xk}(x) = P(X_i < x) = k - P(X_i > x) \quad (3.14)$$

Ймовірність відсутності висіяних зерен на ділянці від  $x_k$  до  $(x_k + x)$  дорівнює:

$$P(X_i > x_1) = e^{-b} = e \quad (3.15)$$

Функція розподілу визначається виразом:

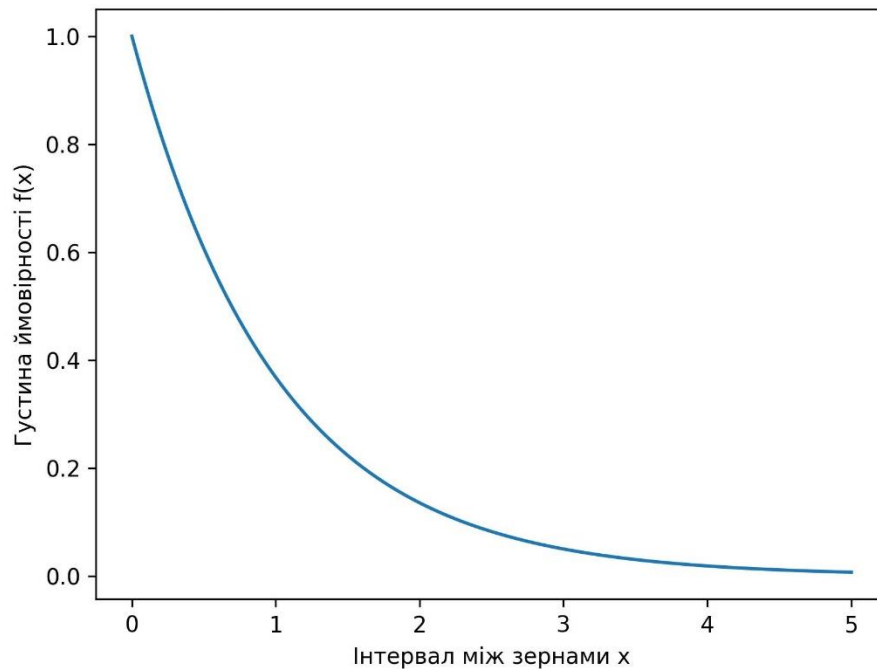
$$F_{x_k}(x) = k - e \quad (3.16)$$

Диференціювання дає густину розподілу ймовірностей:

$$f_{x_k}(x) = \lambda_n (x_k + x_1) e^{-\lambda} \quad (3.17)$$

Формула (3.18) описує закономірність розподілу інтервалів між сусідніми зернами при формуванні насіннєвого потоку за рахунок примусового висіву.

На основі теоретичного аналізу була отримана залежність густини розподілу від інтервалу між зернами (рис. 3.11).



З приведенного аналізу можна зробити висновок, що розподіл інтервалів між насінинами в примусовому потоці характеризується значно складнішою закономірністю, а рівномірність інтервалів між зернами істотно нижча порівняно з активним зерновим потоком.

Конструктивні параметри зернової катушки, зокрема геометрія жолобків і ребер, а також режими її функціонування, є визначальними факторами рівномірності розподілу інтервалів між зернами як у примусовому, так і в сумарному насіннєвому потоці.

### **3.3. Методика експериментальних досліджень рівномірності зернового потоку насіння гречки**

Для розв'язання завдань, визначених відповідно до цілей дослідження та теоретичного аналізу технологічного процесу висіву насіння внутрішньорєбристими висівними апаратами удосконаленої конструкції, було розроблено програму експериментів та створено відповідні експериментальні установки. У процесі досліджень застосовувалися загальноприйняті методи проведення експериментів та оцінювання отриманих результатів. Створено оригінальну експериментальну установку, що забезпечує високу точність отримання експериментальних даних.

Програма експериментальних досліджень включає:

- Визначення рівномірності розподілу насіння гречки вздовж рядка внутрішньорєбристими висівними апаратами вдосконаленої конструкції;
- Порівняльний аналіз отриманих експериментальних результатів з показниками базової конструкції апарату.

#### **3.3.1. Методика оцінювання якості розподілу насіння гречки вздовж рядка**

Визначення якості розподілу насіння гречки здійснювалося наступним чином. За допомогою пульта керування виконується запуск установки, після чого забезпечується розгін робочих органів 1, 3 до встановленого режиму роботи з одночасною подачею живлення на електромагніт пробовідбірника 2 протягом необхідної кількості обертів валу апарату 1 (рис. 3.12).

Частота обертання валу висівного апарату 1 підбирається таким чином, щоб за встановленої швидкості липкої стрічки насінневий матеріал не потрапляв на зворотну сторону транспортера 3.

Після висіву зернового матеріалу на клейку стрічку 4 насіння дещо притискається для забезпечення надійного прилипання.

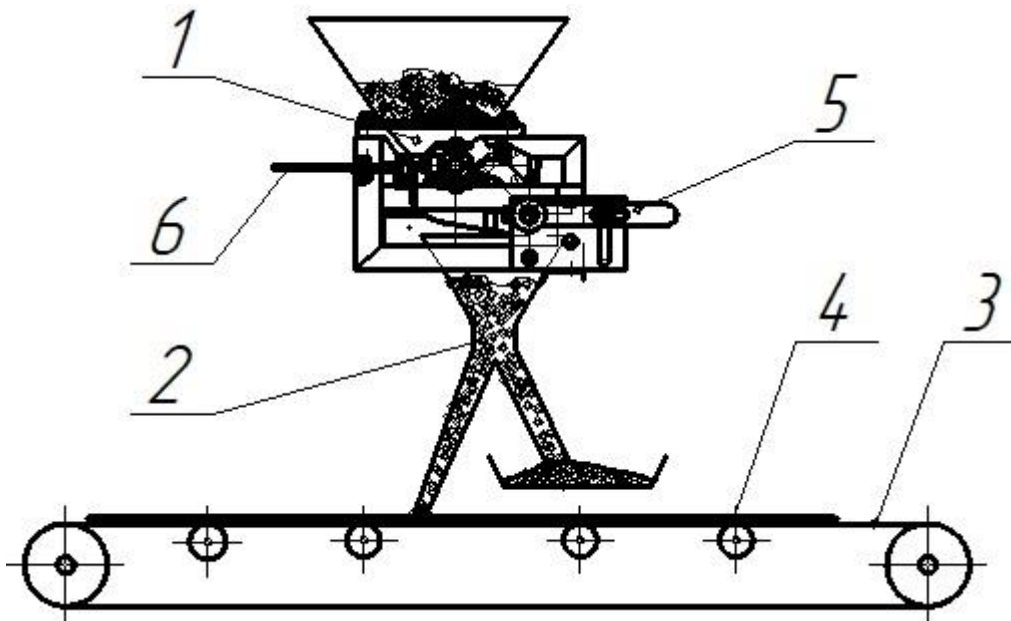


Рис. 3.12 – Експериментальна установка для визначення рівномірності висіву насіння гречки вздовж рядка

1 – внутрішньо реберчастий висівний апарат; 2 – електро магнітний пробовідбірник; 3 – привідна транспортерна стрічка; 4 - липка стрічка; 5 - механізм регулювання вису; 6 – привід висівного апарату

Після завершення експерименту липку стрічку 4 знімають з транспортера 3 та розрізають по довжині на окремі ділянки довжиною 50 мм, в межах яких послідовно підраховується кількість висіяного насіння. Таким чином спостерігається розподіл насіння гречки в рядку в масштабі  $\mu$ :

$$\chi = \frac{l}{l_l}, \quad (3.18)$$

де  $\chi$  - коефіцієнт масштабування шляху, який пройшло насіння;

$l$  - шлях сівалки, співвідносний за один оберт валу висівного апарату, м;

$l_l$  - довжина липкої стрічки на транспортері при одному оберті валу висівного апарату, м.

Шлях сівалки при одному оберті валу визначається за формулою:

$$l = \frac{w}{w_n}, \quad (3.19)$$

де  $w$  - кількість насінєвого матеріалу гречки, що висіяна за один оберт вал, кг;

$w_n$  - необхідна норма висіву насіння гречки у полі, кг/м;

$$w_n = \frac{W}{L_p}, \quad (3.20)$$

де  $W$  - норма висіву насіння гречки, кг/га;

$L_p$  - довжина рядка при висіві гречки на гектарі поля, м;

$$L_p = \frac{10^4}{k}, \quad (3.21)$$

де  $k$  – відстань між рядками гречки.

З урахуванням виразів (3.20) і (3.21), фактичний шлях сівалки при одному оберті валу висівного апарату:

$$l = \frac{10^4 \cdot w}{W \cdot b}, \text{ м.} \quad (3.22)$$

Використовуючи формулу (3.18), розраховуємо довжину ділянок клейкої стрічки  $\Delta l_l$ , що відповідають 1 метру чи 0,5 метра шляху сівалки на полі:

$$\Delta l_l = \frac{1}{\mu} \text{ або } \Delta l_l = \frac{0,5}{\mu}. \quad (3.23)$$

За результатами експериментальних досліджень будуються графічні залежності розподілу зернового матеріалу за масою вздовж рядка.

Запропонована методика визначення якості розподілу насіння гречки максимально наближує лабораторні умови до польових, при цьому підвищується продуктивність та точність визначення якості розподілу сипких матеріалів вздовж рядка при стохастичному висіві з високими нормами висіву.

### 3.3.2. Обґрунтування якісних показників роботи висівного апарату

У теорії вимірювань для кількісної оцінки похибок застосовується середньоквадратичне відхилення  $\sigma$ . Для його визначення квадрати окремих відхилень  $\delta_i$ , отриманих у серії експериментальних вимірювань, підсумовують,

після чого отриману суму ділять на кількість проведених вимірювань та з результату добувають квадратний корінь, тобто [20]

$$\sigma \pm \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{z}}, \quad (3.24)$$

З положень теорії ймовірностей відомо, що сума квадратів відхилень  $\sum \delta_i^2$  має мінімальне значення у порівнянні з аналогічними сумами, сформованими відносно будь-якої іншої довільної величини. Саме тому даний підхід отримав назву методу найменших квадратів.

Середньоквадратичне відхилення ( $\delta_i^2$ ) використовується як узагальнений показник точності вимірювань, а при дослідженні роботи сівалок як критерій оцінювання нерівномірності висіву насіння. У практиці експериментальних досліджень вважається, що гранична похибка не повинна перевищувати потрібного значення середньоквадратичного відхилення:

$$\delta_l = 3\sigma, \quad (3.25)$$

Слід зауважити, що вираз (3.24) є коректним за умови достатньо великої кількості вимірювань.

Послідовність визначення статистичних показників є такою. Спочатку обчислюють середнє арифметичне значення досліджуваної величини:

$$M_{\text{сер}} = \frac{\sum a_i}{z}, \quad (3.26)$$

де  $a_i$  - результат окремого вимірювання (зокрема, кількість висіяного зерна за один дослід);

$z$  - загальна кількість вимірювань або повторів експерименту.

Далі визначають відхилення результатів окремих вимірювань від середнього арифметичного:

$$\delta_1 = a_1 - M_{\text{сер}},$$

$$\delta_2 = a_2 - M_{\text{сер}},$$

$$\delta_i = a_i - M_{\text{сер}}.$$

Значення  $\delta$  можуть бути як додатними, так і від'ємними, при цьому їх алгебраїчна сума дорівнює нулю.

Після цього обчислюють квадрати відхилень  $\delta_1^2, \delta_2^2, \dots, \delta_i^2$ .  
та за формулою (3.24) знаходять середньоквадратичне відхилення  $\sigma$ .

Отримана величина характеризує ступінь розсіювання результатів відносно середнього значення і дозволяє оцінити рівномірність функціонування висівного апарата.

Разом з тим абсолютне значення  $\sigma$  як іменована величина не дає повної характеристики мінливості досліджуваного показника. Тому для порівняльної оцінки доцільно використовувати коефіцієнт варіації, який визначається [20]:

$$V_B = \pm \frac{\sigma}{M_{\text{сер}}} 100\%, \quad (3.27)$$

$M_{\text{сер}}$  - середнє арифметичне значення параметра.

Чим більшим є значення коефіцієнта варіації, тим вищою є нестабільність досліджуваного процесу.

Оскільки середнє арифметичне визначається за обмеженою кількістю спостережень, у процесі розрахунків можливі додаткові похибки.

Абсолютна середня помилка середнього арифметичного оцінюється:

$$m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{z}}, \quad (3.28)$$

Аналогічно до коефіцієнта варіації, для характеристики відносної точності визначення середнього арифметичного використовують показник точності вимірювань:

$$P = \frac{m}{M_{\text{сер}}} 100\%. \quad (3.29)$$

Чим меншим є значення показника  $P$ , тим більш достовірними та надійними вважаються результати експериментальних вимірювань.

Зазначений статистичний підхід широко застосовується під час випробувань і досліджень робочих органів різних типів сільськогосподарських машин з метою об'єктивної оцінки якості їх роботи.

### 3.3.3. Результати експериментальних досліджень рівномірності розподілу насіння гречки

З метою експериментальної оцінки рівномірності розподілу насіння гречки в рядку внутрішньоребристим висівним апаратом було розроблено та виготовлено спеціальну лабораторну установку, загальний вигляд якої наведено на рис. 3.13.

Установка включає внутрішньо ребристий висівний апарат, привід якого здійснюється від електродвигуна, електромагнітний пробовідбірник, стрічковий транспортер із закріпленою на ньому липкою стрічкою (скотчем), механізм регулювання відкриття висівного вікна, пристрій для вивільнення висівного апарата від залишків насіння, а також контактну групу та вимикач.

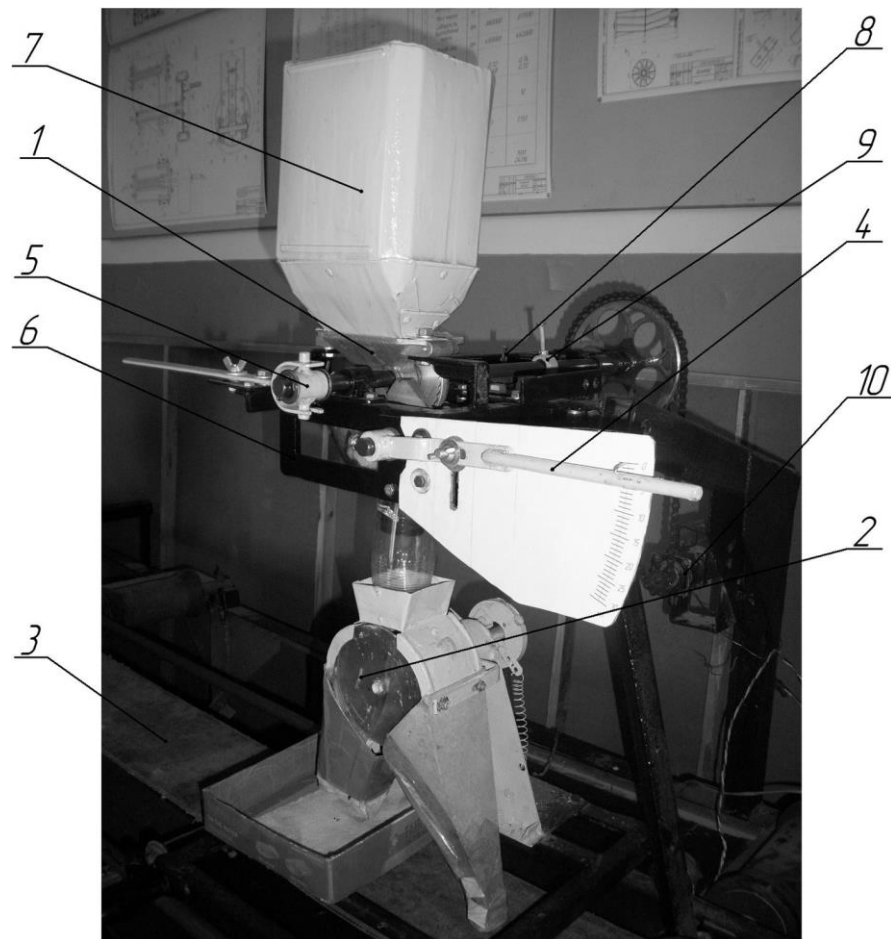


Рис. 3.13 Загальний вигляд експериментальної установки для досліджень внутрішньо ребристого висівного апарата:

1 – внутрішньо ребристий висівний апарат; 2 – пробовідбірник; 3 – привідна стрічка ; 4 – регулювальна заслінка; 5 - механізм вивантаження насіння гречки; 6 – рама установки; 7 – зерновий бункер; 8 – контактні елементи; 9 – вимикач; 10 – електропривід.

Обертання валу з котушкою висівного апарата здійснюється від електродвигуна через ланцюгову передачу. На вал встановлена втулка із закріпленою зірочкою, у якій виконано поздовжній паз для розміщення болта вала. Втулка має кільцеву проточку, у яку входить вилоподібний елемент, жорстко закріплений на рамі установки, що дозволяє втулці вільно обертатися.

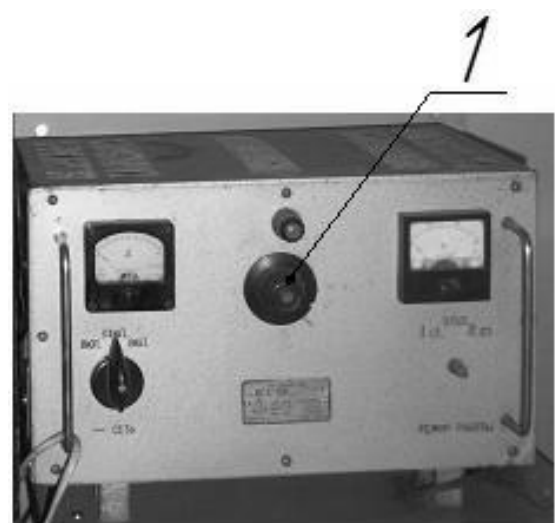


Рис. 3.14. Встановлення скотчу на транспортерну стрічку.

Блок управління (рис. 3.15, б) призначений для живлення електродвигуна та дає можливість плавного регулювання сили струму за допомогою рукоятки керування, що дозволяє змінювати частоту обертання електродвигуна. На пульті керування (рис. 3.15, а) задається кількість обертів котушки, що дає змогу визначити кількість насіння, висіяного за певне число обертів. У даному дослідженні аналіз проводився для одного повного оберту котушки.



а)



б)

Рис. 3.15. Електроприлади: а) – пульт керування; б- блок управління електроприводу.

Пульт керування електрично з'єднаний із контактною групою та електромагнітним пробовідбірником.

Процес висіву відбувається наступним чином. Під час обертання вала висівного апарата закріплений на ньому вимикач замикає контактну групу, внаслідок чого сигнал надходить на пульт керування, а далі — на електромагнітний пробовідбірник. Останній відкриває заслінку, і насіння висівається на липку стрічку транспортера.

Після завершення одного оберту котушки контактна група знову замикається, заслінка повертається у вихідне положення, а насіння спрямовується до спеціальної приймальної коробки.

Таким чином, висів насіння здійснюється строго протягом одного оберту вала висівного апарата.

#### **Умови проведення досліджень рівномірності насіння гречки**

Під час проведення лабораторних досліджень використовували насіння гречки з нормою висіву 70 кг/га. Величина відкриття висівного вікна становила 8...10 мм. Висів насіння здійснювався за один оберт котушки на липку стрічку довжиною 2,4 м.

Результати експериментів були систематизовані та занесені до таблиці (додаток В). Крім того, виконано фотозйомку результатів висіву, на якій зафіксовано просторове розміщення насіння гречки на поверхні стрічки (рис. 3.16).



Рис. 3.16. Розподіл насіння гречки на липкій стрічці експериментальної установки.

На основі отриманих експериментальних даних побудовано графічну залежність розподілу насіння гречки за кількістю уздовж стрічки (рис. 3.17).

Гістограми відображають розподіл насіннєвого матеріалу на п'яти сантиметрових ділянках по всій довжині висіву.

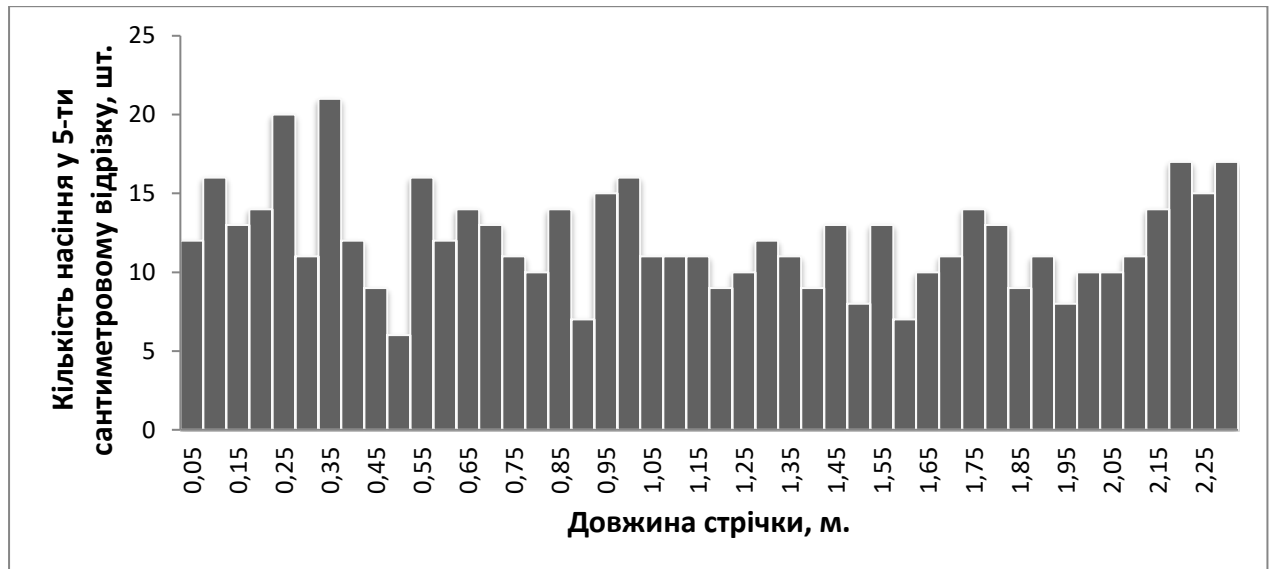


Рис. 3.17. Гістограма розподілу насіння гречки вздовж стрічки.

Аналіз гістограми показує, що на всій довжині стрічки відсутні ділянки з повною відсутністю насіння, тобто пропуски. Кількість насінин на окремих ділянках коливається поблизу середнього значення з відносно незначними відхиленнями.

З графіка видно, що максимальні відхилення від середнього значення становлять: верхнє - 75 %, нижнє - 50 %.

Для приведення лабораторних результатів до польових умов визначено масштабний коефіцієнт зменшення шляху сівалки:

$$\varphi = \frac{l}{l_{ск}} = \frac{6}{2,3} = 3,6 \quad (3.30)$$

де  $\varphi$  - масштаб який показує зменшення пройденого шляху сівалкою;

$l$  - відстань сівалки за один оберт валу, м;

$l_{ск}$  - довжина скотча на стрічці при одному оберті валу висівного апарата, м.

Шлях сівалки за один оберт вала визначали за залежністю:

$$l_{сис} = \frac{q}{q_n} = \frac{0,03}{0,007} = 4,28м, \quad (3.31)$$

де  $q$  - кількість насіння гречки, що висіяне за один оберт, кг;

$q_n$  - встановлена норма висіву гречки в полі, кг/м;

Задану норму висіву визначали за формулою:

$$q_n = \frac{W}{L_p} = \frac{7}{6666} = 0,0075 \text{ кг/м}, \quad (3.32)$$

де  $W$  - норма висіву насіння гречки, кг/га;

$L_p$  - загальна довжина рядка в гектарі, м;

$$L = \frac{10^4}{c} = \frac{10^4}{0,15} = 6666 \text{ м}, \quad (3.33)$$

де  $c$  - міжряддя.

Використовуючи отримане значення масштабного коефіцієнта, визначено довжини ділянок стрічки  $\Delta l_c$ , що відповідають 1 м та 0,5 м шляху сівалки в польових умовах:

$$\Delta l_{ck} = \frac{1}{\varphi} = \frac{1}{3} = 0,32 \text{ м}, \quad (3.34)$$

$$\Delta l_c = \frac{0,5}{\varphi} = \frac{0,5}{3} = 1,74 \text{ м}, \quad (3.35)$$

З урахуванням масштабування побудовано гістограму розподілу насіння гречки по довжині рядка (рис. 3.18).

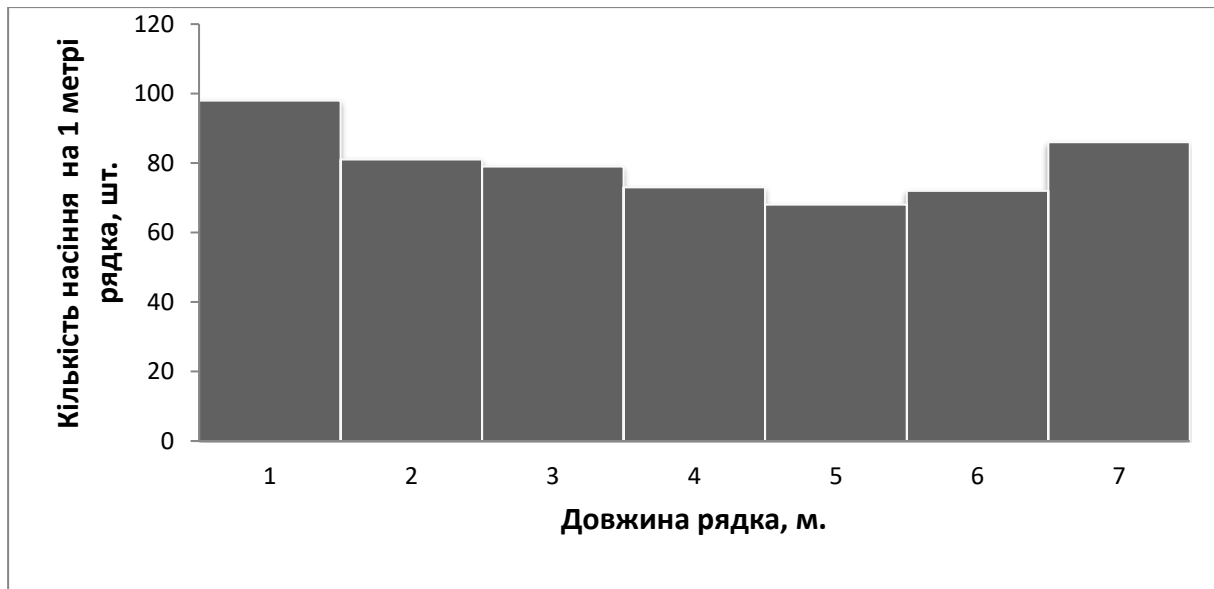


Рис. 3.18. Гістограма розподілу насіння гречки по довжині рядка з урахуванням масштабного коефіцієнта.

Отримана гістограма свідчить про стабільний розподіл насіння вздовж рядка: кількість насінин на елементарних ділянках змінюється незначно та концентрується поблизу середнього значення. Максимальні відхилення становлять: верхнє - 24 %, нижнє - 12,5 %.

За даними таблиці (додаток Б) визначено основні показники якості роботи висівного апарата. Загальна кількість висіяного насіння гречки:

1) кількість всього висіяного насіння гречки

$$\sum b_i = b_1 + b_2 + b_3 + \dots + b_{46} = 726 \text{ шт}, \quad (3.36)$$

де  $b_i$  - показник окремо взятого вимірювання.

2) Середньо арифметичне значення

$$M_{сер} = \frac{\sum b_i}{z} = \frac{726}{45} = 16,13 \text{ шт}, \quad (3.37)$$

$z$  - кількість повторностей висіву.

3) Визначаємо відхилення  $\delta_i$  значень окремо взятих вимірювань від середньорифметичного

$$\delta_1 = a_1 - M_{сер},$$

$$\delta_2 = a_2 - M_{сер},$$

$$\delta_i = a_i - M_{сер}.$$

( результати розрахунків  $\delta_i$  в додатку Б).

4) сума квадратів відхилень вимірювань

$$\sum \delta_i^2 = \delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots + \delta_{45}^2 = 464,3$$

Обчислюємо середньо квадратичне відхилення вимірювань

$$\sigma \pm \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{z}} = \pm \sqrt{\frac{464,3}{45}} = 3,21 \quad (3.38)$$

Обчислюємо коефіцієнт варіації

$$V = \pm \frac{\sigma}{M_{сер}} 100\% = \pm \frac{3,21}{16,13} \cdot 100\% = 19,7\% \quad (3.39)$$

Обчислюємо середню похибку середньоарифметичного показника

$$m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{z}} = \frac{3,21}{\sqrt{45}} = 0,46 \quad (3.40)$$

Показник точності вимірювань

$$P = \frac{m}{M_{\text{сер}}} 100\% = \frac{0,46}{16,13} \cdot 100\% = 2,85 \% \quad (3.41)$$

### **Висновки по результатам експериментальних досліджень**

Результати проведених експериментальних досліджень підтверджують, що внутрішньо ребристий висівний апарат забезпечує якісний та стабільний висів насіння гречки з високим рівнем рівномірності. Порівняно з традиційними катушковими апаратами спостерігається більш однорідне формування зернового потоку, що позитивно впливає на розподіл насіння в рядку.

Аналіз гістограм показав відсутність пропусків по всій довжині висіву, а кількість насіння на елементарних ділянках коливається поблизу середнього значення.

Отримані статистичні показники свідчать про достатньо високий рівень рівномірності розподілу насінневого матеріалу, що підтверджує доцільність застосування внутрішньо ребристого висівного апарата для сівби гречки.

## 4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИСІВНОГО АПАРАТУ

### 4.1. Технологічні розрахунки висівного апарату

Висівні апарати внутрішньорєбристого типу характеризуються вищою рівномірністю розподілу насінневого матеріалу в порівнянні з традиційними котушковими апаратами. Це пояснюється особливостями формування зернового потоку та стабільнішою подачею насіння до насіннепроводу.

До основних конструктивних параметрів внутрішньорєбристого висівного апарату відносять діаметр котушки  $d_{кот}$  який зазвичай знаходиться в межах 80...105 мм, а також відстань  $a_{кон}$  від осі вала котушки до дна бункера.

Згідно з рекомендаціями досліджень [22], ця відстань визначається залежністю:

$$a_{кон} = (0,35...0,4) d_{кот}, \quad (4.1)$$
$$d_{кот} = 0,35 \cdot 100 = 35 \text{ мм}$$

До технологічних параметрів висівного апарату належать геометрична форма та розміри ребер котушки, їх кількість, ширина робочої частини котушки разом із корпусом, максимальна величина відкриття висівного вікна  $l_{нор}$ , що регулюється заслінкою, довжина нижнього поріжка  $l_{вік}$ .

Кількість насіння, висіяного за один оберт котушки, визначають за формулою:

$$q_{об} = 10^{-6} \cdot \pi \cdot S_1 \cdot h \cdot \gamma \cdot \varphi \cdot (d_{кот} - C_1), \quad (4.2)$$

де  $S_1 \cdot h$  - висота й ширина щілини, мм;  $d_{кот}$  - діаметр висівної котушки, мм; ( $C_1=28\text{мм}$ ;  $b=16\text{мм}$ )

$\varphi$  - коефіцієнт заповнення щілини ( $\mu = 0,6 - 0,8$ );

$\gamma$  - об'ємна маса насіння гречки, г/дм<sup>3</sup>.

З метою запобігання самовільному витіканню насіння через висівне вікно необхідно визначити довжину нижнього поріжка  $l_{нор}$ . Це здійснюється графічним методом. При максимально відкритій заслінці з точки  $K$ , що відповідає нижньому краю заслінки, проводять пряму під кутом  $\psi_0$  до

горизонталі (рис. 4.1) до її перетину з зовнішньою окружністю котушки діаметра  $d_{кот}$ .

Отримана точка перетину визначає край нижнього порізка корпусу:

$$\Psi_0 = \alpha_{пр} - \alpha_{рел} = 26^\circ - 8^\circ = 18^\circ, \quad (4.3)$$

де  $\alpha_{пр}$  - кут природнього відкосу насіння гречки;  $\alpha_{рел}$  - кут нахилу поля.

Після проходження висівного вікна насіннєвий матеріал повинен бути піднятий котушкою на певний кут  $\beta_{кор}$  до краю корпусу, звідки він потрапляє до лійки насіннепроводу. Як видно з рис. 4.1, шар насіння, що формується після висівного вікна, витискується всередині корпусу у вигляді об'єму ABCD, який утворюється внаслідок обертання котушки.

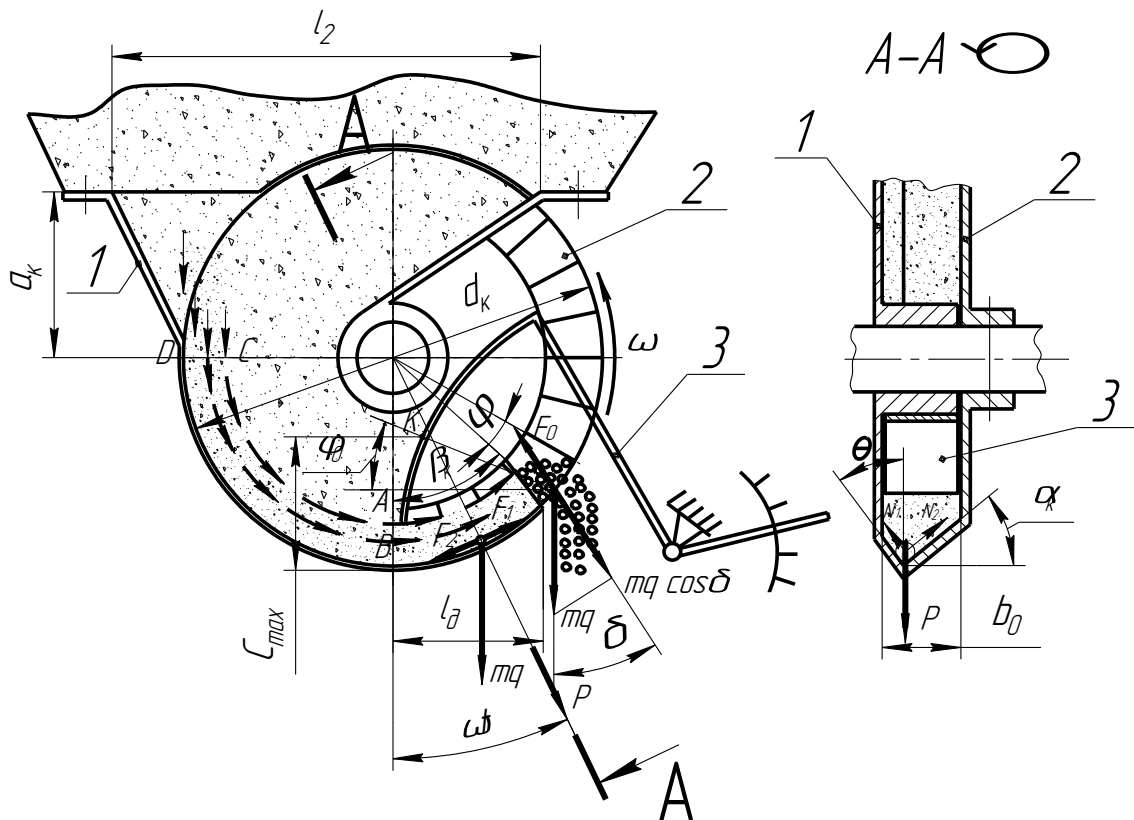


Рис. 4.1. Схема роботи внутрішньо реберчастого висівного апарату :

1 – корпус апарату; 2 – висівна котушка; 3 - дозатор.

Якщо розглядати дискретні частки, як вільно лежать на робочій поверхні котушки, то умовою піднімання їх до краю корпусу на кут  $\beta_k$ , буде: [22]

$$\begin{aligned} & \left( m_H g \cdot \cos \omega_k t + \frac{m_H \omega_k^2}{2} \right) \cos \gamma \cdot \frac{tg \varphi_1}{\cos(a - \gamma)} > \\ & > \left( m_H g \cdot \cos \omega_k t + \frac{m_H \omega_k^2 \cdot d_{кот}}{2} \right) \sin \alpha \cdot \frac{tg \varphi_2}{\cos(a - \gamma)} + m_H g \cdot \sin \omega_k, \end{aligned} \quad (4.4)$$

де  $m_H$  - маса насіння гречки;  $g$  - прискорення падіння;  $\omega_k$  - величина кутової швидкості котушки;  $d_{кот}$  - діаметр котушки (внутрішній);  $\gamma$  - кут вихідного каналу корпусу котушки.

З урахуванням малих кутових швидкостей та порівняно невеликого діаметра котушки вплив відцентрових сил можна вважати незначним. У цьому випадку умова піднімання насіння котушкою з рівною внутрішньою поверхнею визначається спрощеним співвідношенням [22]:

$$tg \varphi_1 > tg \beta_{кот} \frac{\cos(a_{кон} - \gamma)}{\cos \gamma} + tg \varphi_2 \frac{\sin \alpha_{кон}}{\cos \gamma}, \quad (4.5)$$

$$\begin{aligned} tg 22^\circ & > tg 54^\circ \frac{\cos(32^\circ - 32^\circ)}{\cos 32^\circ} + tg 22^\circ \frac{\sin 32^\circ}{\cos 32^\circ} \\ & 0,39 > 0,37 \end{aligned}$$

де  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  - кути тертя проковзування по поверхні котушки, що залежить від виду насіння;  $a_{кон}$  - кут конусу поверхні котушки;  $\gamma$  - кут конуса вихідного отвору корпусу апарата.

Отримана нерівність свідчить про те, що за ідеалізованих умов піднімання насінневої частки котушкою з гладкою внутрішньою поверхнею є теоретично можливим. Проте в реальних експлуатаційних умовах виконання цієї умови практично не забезпечується.

З метою підвищення надійності технологічного процесу висіву на робочій поверхні котушки доцільно формувати невеликі ребра, відстань між якими дорівнює або перевищує максимальну довжину насіння, що висівається.

Під час виходу котушки з корпусу насіння пошарово надходить у лійку насіннепроводу. Кожен шар при цьому зсувається відносно попереднього, подібно до руху по похилій площині, яка обертається разом із котушкою.

Внаслідок цього формується розтягнута зона висипання, протяжність якої визначається кутом  $\Psi$ .

З огляду на це, необхідно підбирати такі конструктивні та кінематичні параметри висівного апарата, які забезпечують своєчасне та повне сходження насіннєвого матеріалу з конічної поверхні катушки.

Максимально допустиме значення відповідного кута визначають за відомою залежністю [22].

$$\Psi_{max} = \frac{180 \cdot \omega_k}{\pi} \cdot \sqrt{2C_{max} \cdot \cos \varphi_{вн} / g \cos(\delta_{max} + \varphi_{вн})} + 2 \arcsin \left( \frac{c_{max}}{d_{кот}} \right) < < 90^\circ - \beta, \quad (4.6)$$

$$\begin{aligned} \Psi_{max} &= \frac{180 \cdot 2,45}{3,14} \cdot \sqrt{2 \cdot 0,026 \cdot \cos 25^\circ / 9,81 \cdot \cos(56^\circ + 26^\circ)} \\ &+ 2 \arcsin \left( \frac{0,008}{0,1} \right) < 90^\circ - 56^\circ \\ \Psi_{max} &= 33^\circ < 36^\circ, \end{aligned}$$

де  $C_{max}$ - найбільше відкриття висівної щілини;  $c_{max}$ -максимальне значення ширини насіння гречки;  $\varphi$  - кут тертя насінин;  $\delta_{max} = \beta_k$

Із рівняння (4.6) можна зробити висновок, що отримана нерівність виконується, а отже обрані конструктивні та кінематичні параметри висівного апарата є обґрунтованими й забезпечують своєчасне та повне сходження посівного матеріалу з конічної робочої поверхні катушки.

## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1. Заходи щодо забезпечення безпечних умов праці на посівному агрегаті

З метою створення безпечних та сприятливих умов праці під час експлуатації посівного агрегату УЗТС-3,6 передбачено комплекс організаційно-технічних заходів відповідно до чинних нормативних документів [18, 19].

Усі елементи приводу, карданний вал, висівні диски та інші рухомі складові агрегату обладнані захисними кожухами. Для підвищення видимості та попередження травматизму захисні елементи пофарбовані у жовтий сигнальний колір, який контрастує з основним забарвленням машини.

З метою безпечного очищення сошників у разі їх забивання сівалка комплектується спеціальним чистиком, конструкція кріплення якого забезпечує його швидке знімання без застосування додаткових інструментів. Самовільне опускання сошників під час експлуатації виключено завдяки застосуванню надійного запірного механізму.

Бункер для насіння розміщений таким чином, що висота від поверхні поля до його верхнього краю становить 1,1 м, що знижує ризик травмування обслуговуючого персоналу. Для безпечного переміщення агрегату під час транспортування передбачено наявність причіпного пристрою для поперечного перевезення між полями або до місць зберігання.

Стоянкові гальма забезпечують надійну фіксацію сівалки на схилах із крутістю не менше 18 %. Місця встановлення домкратів чітко позначені літерним маркуванням «ДК» та виділені фарбою, що відрізняється від основного фону агрегату.

Для контролю за роботою сівалки без безпосередньої участі обслуговуючого персоналу агрегат обладнано системою УСК, яка дозволяє здійснювати спостереження за ефективністю функціонування висівних апаратів.

З метою забезпечення безпеки дорожнього руху на задній частині посівного агрегату встановлені світлові покажчики: задні - червоного кольору, передні - білого. Їх розміщення виконано відповідно до вимог ДСТУ.

## **5.2. Заходи пожежної безпеки при роботі з сівалкою**

Заправка трактора паливом здійснюється виключно на стаціонарних автозаправних станціях або у спеціально обладнаних для цього місцях. Первинні засоби пожежогасіння пофарбовані у червоний сигнальний колір відповідно до вимог ДСТУ.

Заправні горловини паливних баків та системи охолодження двигуна розташовані ззовні кабіни трактора та пристосовані для механізованої заправки, що знижує ризик займання та травмування персоналу.

Конструкцією сівалки передбачені спеціальні місця для розміщення первинних засобів пожежогасіння. Їх розташування забезпечує вільний доступ та можливість зняття кожного засобу протягом не більше 8 секунд без застосування допоміжного інструменту.

Відповідно до вимог ДСТУ посівний агрегат укомплектовано двома порошковими вогнегасниками типу ОП-10, двома санітарними лопатами та двома швабрами. Майданчики для зберігання посівної техніки оснащуються необхідними засобами пожежогасіння згідно з ДСТУ.

### **Висновки до розділу**

У результаті аналізу потенційно небезпечних і шкідливих виробничих факторів розроблено та обґрунтовано комплекс заходів, спрямованих на покращення умов праці під час експлуатації модернізованої сівалки. Реалізація запропонованих рішень сприяє підвищенню рівня безпеки, зменшенню ризику травматизму та створенню більш комфортних умов роботи для механізаторів.

Запровадження зазначених заходів дозволяє підвищити продуктивність праці, покращити організацію робочого процесу та знизити ймовірність виникнення нещасних випадків після проведення відповідного інструктажу з охорони праці.

Модернізована сівалка відповідає вимогам ССБТ щодо захисту оператора від впливу шуму, вібрації, пилу та можливих травмонебезпечних ситуацій. За показниками безпеки конструктивних елементів машина відповідає вимогам ДСТУ.

## 6. ВИСНОВКИ

На основі результатів аналізу технології вирощування гречки в умовах господарства визначено, що одним із факторів, які суттєво впливають на її ефективність є недостатня рівномірність розподілу насінєвого матеріалу в рядку.

Проведено огляд та аналіз висівних апаратів вітчизняного та закордонного виробництва, на основі якого обґрунтовано напрямок удосконалення конструкції висівного апарату.

Для підвищення якісних показників сівби насіння гречки розроблено вдосконалену конструкцію внутрішньо реберчастого висівного апарата з конічною формою зернової катушки. На внутрішній поверхні катушки виконано невисокі рифлені ребра, що забезпечують покращене захоплення, утримання та транспортування насіння під час його переміщення.

Запропонована конструкція висівного апарата дає змогу здійснювати просте групове безступінчасте регулювання норми висіву шляхом одночасної зміни висоти висівних вікон усіх апаратів, а також забезпечує групове вивільнення їх від насіння за рахунок відведення катушок від корпусів на величину, що перевищує максимальні розміри посівного матеріалу.

На основі проведеного теоретичного аналізу розподілу насіння отримано аналітичну залежність густини розподілу від інтервалу між зернами.

Проведені експериментальні дослідження внутрішньореберчастого висівного апарата підтвердили його здатність забезпечувати рівномірний розподіл насіння вздовж рядка. Аналіз побудованих гістограм показав, що максимальні відхилення кількості насінин від середнього значення становлять: у верхній бік - близько 22 %, у нижній - приблизно 15,5 %.

Таким чином, експериментально доведено, що розроблений висівний апарат має високі показники якості висіву та може бути впроваджений у виробництво.

## Список використаної літератури

1. Технологія виробництва продукції рослинництва : навч. посіб. Ч.2 / [Мельник С.І., Муляр О.Д., Кочубей М.Й., Іванцов П.Д.]. – К. : Аграрна освіта, 2010. – 405 с.
2. Зінченко О.І., Салатенко В.Н., Білоножко М.А. Рослинництво. К.:Аграрна освіта, 2001. С.356 – 373.
3. Білоножко В. Я. Агробіологічні та екологічні основи виробництва гречки: монографія. Миколаїв: Вид-во Ірини Гудим, 2010. 332 с
4. Кропивницький О. О., Глебов А. В., Горбенко О. А. Аналіз відомих технологій виробництва крупи гречаної / О. О. Кропивницький, А. В. Глебов, О. А. Горбенко // Перспективна техніка і технології. 2016. С. 76–82.
5. Технологічні карти та витрати на вирощування сільськогосподарських культур з різним ресурсним забезпеченням / За ред. Д.І. Мазоренка, Г.Є. Мазнева. -Харків: ХНТУСГ. 2006. 725 с.
6. Петров П.В. Агротехнологія і технологічні карти вирощування сільськогосподарських культур : навч. посіб. / Петров П.В., Посполітак Т.Є., Юркевич Є.О. – К. : Аграрна освіта, 2009. – 268 с.
7. Сільськогосподарські машини :підручник / Д.Г. Войтюк, Л.В. Аніскевич, В.В. Іщенко та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: «Агроосвіта», 2015. – 679 с.
8. Сільськогосподарські машини: навч. посіб. / Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В., Волянський М.С. , Мартишко В.М. , Гуменюк Ю.О. – Київ : «Агроосвіта», 2017. – 180 с.
9. В. Сало, С. Лещенко, П. Лузан, Л. Сало. Машини для сівби, садіння та догляду за посівами: навчальний посібник. – Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2022. – 220 с.
10. Бакум М.В., Михайлов А.Д., Кириченко Р.В. Аналіз конструкцій висівних апаратів для сівби зернових культур. Інженерія природокористування. 2019. №3(13). С. 87-93.
11. Бойко А.І., Свірень М.О., Шмат С.І., Ножнов М.М. Нові конструкції ґрунтообробних та посівних машин. Кропивницький: Лисенко В.Ф., 2019. 310 с.

12. Деркач О.Д., Науменко М.М., Макаренко Д.О. Підвищення ефективності висівних апаратів зернових сівалок шляхом використання полімерних матеріалів. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2021. Вип. 216. С. 118-126.

13. Методичні рекомендації до виконання дипломної роботи здобувачів другого (магістерського) освітнього рівня спеціальності Н7 «Агроінженерія» за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія» / уклад.: Д.І. Петренко, С.М. Лещенко, О.М. Васильковський, С.М. Мороз, Ю.В. Мачок, О.В. Нестеренко. М-во освіти і науки Укр., Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2025.– 46 с.

14. Лузан П.Г., Сало В.М., Лузан О.Р. Розробка конструкції та обґрунтування параметрів універсального пневмомеханічного висівного апарата. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2019. Вип. 49. С. 132-141.

15. Нові конструкції ґрунтообробних та посівних машин. А.І. Бойко, М.О.Свірень, С.І. Шмат, М.М.Ножнов. К.:Техніка 2003. 204 с.

16. Сисолін П.В.. Звичайні підходи по створенню універсальних вітчизняних сівалок для сівби зернових культур.– Кіровоград: КОД, 2008.–84 с.

17. Пастухов В.І., Бакум М.В., Михайлов А.Д. Обґрунтування параметрів універсального висівного апарата сівалки для технологій сталого землеробства. Інженерія природокористування. 2022. №1(23). С. 63-71.

18. Kyurchev V., Chorna T., Kovalov O. Engineering management of vibrating machines for post-harvest grain processing. Modern Development Paths of Agricultural Production. 2019. P. 259-265

19. Свірень М.О., Амосов В.В., Кісільов Р.В. Теоретичні дослідження процесу висіву насіння внутрішньоробригим висівним апаратом. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2021. Вип. 4(35). С. 122-129.

20. Гончаров В.В., Гончарова С.Я., Личук М.В. Теорія ймовірностей і математична статистика. – Кіровоград: КНТУ, 2006 р.

21. Комаристов В.Ю., Петренко М.М., Косінов М.М., Сільськогосподарські машини. – К.: Урожай, 1996.
22. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропивний В.М. Сільськогосподарські машини: Теоретичні основи, конструкція, проектування/Під ред. Чорновола М.І.– К.: Урожай, 2001.–382с.
23. Кравчук В.І., Мельник Ю.Ф. Машини для обробітку ґрунту та сівби/ МінАПК України, Дослідницьке, – 2009. – 288 с.
24. Машини для сівби, садіння та догляду за посівами: навчальний посібник / В. Сало, С. Лещенко, П. Лузан, Л. Сало/ –Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2022. – 220 с.
25. Підручник дослідника : навч. посіб. для студ. агротехн. спец. / О. М. Васильковський, С. М. Лещенко, К. В. Васильковська, Д. І. Петренко. - Кіровоград : Мачулін, 2016. - 204 с.
26. ДСТУ 2189-93 ССБП. Машини сільськогосподарські навісні та причіпні. Загальні вимоги безпеки.– К: Держспоживстандарт України, 1993.– 21 с.
27. Основи охорони праці: Підручник / М.С. Одарченко, А.М. Одарченко, В.І. Степанов, Я.М. Черненко. – Х.: Стиль-Издат, 2017. – 334 с.

# ДОДАТКИ