

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

технічної механіки та сільськогосподарських машин

(повна назва кафедри)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Удосконалення технології внесення мінеральних добрив з  
розробкою пристрою рівномірної подачі

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МГс  
спеціальності \_\_\_\_\_

208 Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності)

Бурдик Б.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Сташків М.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій  
(повна назва факультету)  
Кафедра технічної механіки та сільськогосподарських машин  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« » 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 208 Агроінженерія  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Бурдику Богдану Ігоровичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технології внесення мінеральних добрив з розробкою пристрою рівномірної подачі

Керівник роботи Бабій Андрій Васильович, д.т.н., професор  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «24» 01 2024 року № 4/7-62

2. Термін подання студентом завершеної роботи 24.06.2024

3. Вихідні дані до роботи

Робоча ширина захоплення 11,8 м; нерівномірність розподілу добрив на робочій ширині захвату не більше 15 %; вантажопідйомність 0,55 т; доза внесення 45-460 кг/га; допустиме відхилення від встановленої дози  $\pm 10\%$ ; продуктивність за 1 год основного часу 7,0-12,0 га/год, експлуатаційного часу 5,0-7,0 га/год; робоча швидкість руху на основних операціях не більше 10 км/год; питома витрата палива 2 кг/га; максимальна концентрація пилу на робочому місці тракториста 20 мг/м<sup>3</sup>.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Аналіз технологій внесення добрив.

2. Рекомендації з покращення технології внесення мінеральних добрив.

3. Проектна частина.

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Загальні висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Мета і завдання дослідження; Розподільник штанговий навісний РШУ-12.СК; Бункер.СК; Бункер (модифікація). СК; Деталі зворушувача та приводу. Загальні висновки.



## Реферат

*Мета і завдання дослідження* – провести удосконалення технології внесення мінеральних добрив при удосконаленні пристрою рівномірної подачі.

Мета досягається шляхом розробки зворушувального пристрою, що унеможливорює утворенню склепіння мінеральних добрив та сприяє їх рівномірній подачі до розподільчої штанги.

Мета реалізовується при вирішенні наступних завдань:

розглянуто про важливість добрив для розвитку рослин та їх форми внесення;

проаналізовано способи підвищення ефективності використання машин для внесення мінеральних добрив, а також конструктивні особливості машин-аналогів;

наведено основні підходи до більш точного та рівномірного внесення добрив;

розглянуто будову, принцип роботи та основні регулювання базової машини РШУ-12;

проведено обґрунтування конструктивних змін у вузлі подачі добрив для забезпечення їх рівномірної подачі.

*Об'єктом дослідження* – технологічний процес внесення мінеральних добрив.

*Предмет дослідження* – забезпечення рівномірної подачі добрив до розпилюючого пристрою.

*Практичне значення* – використання зворушувача у бункері машини для внесення добрив дозволяє їх рівномірну подачу до розпилюючої штанги, яка рівномірно розподіляє їх по поверхні поля чи підвищується якість внесення добрив.

*Ключові слова.* Мінеральні добрива, штанга, технологічний процес внесення добрив, рівномірність розподілу, зворушувач, бункер.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ВНЕСЕННЯ ДОБРІВ .....	6
1.1 Мінеральні добрива як основні елементи для живлення рослин .....	6
1.2 Форма внесення добрив – ефективність їх засвоєння .....	10
1.3 Підвищення ефективності використання машин для внесення мінеральних добрив .....	12
1.4 Машини-аналоги для внесення мінеральних добрив .....	17
2 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВНЕСЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ .....	26
2.1 Основні підходи до більш точного та рівномірного внесення добрив.....	26
2.2 Будова, принцип роботи та основні регулювання машини РШУ-12.....	33
2.3 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи бакалавра.....	39
3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА .....	40
3.1 Визначення потужності, яка необхідна для приводу зворушувача бункера ...	40
3.2 Розрахунок планки-шатуна приводу зворушувача.....	51
3.3 Розрахунок привідного вала зворушувача.....	53
3.4 Зведені результати розрахунку пасової передачі приводу зворушувача .....	56
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ .....	57
4.1 Можливі небезпеки та вимоги безпеки під час внесення мінеральних добрив.....	57
4.2 Техніка безпеки під час роботи на машинах для внесення добрив .....	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	60
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	61
ДОДАТКИ.....	66

## ВСТУП

Внесення мінеральних добрив є критично важливим аспектом сучасного агрономічного управління, яке забезпечує оптимальний ріст та розвиток рослин, ефективно використання ресурсів та мінімізацію негативного впливу на довкілля.

Рівномірне внесення добрив забезпечує однаковий доступ до поживних речовин для всіх рослин на полі. Це допомагає уникнути ситуації, коли деякі рослини отримують надлишок поживних речовин, а інші – недостатньо, що може призвести до нерівномірного росту і розвитку рослин. Рівномірний ріст рослин сприяє збільшенню загальної врожайності та якості продукції.

Використання точних методів внесення дозволяє зменшити витрати добрив шляхом уникнення їх перевищення в певних зонах. Це не тільки скорочує витрати для фермерів, але й знижує ризик виносу надлишків добрив з полів, що може призвести до забруднення водойм.

Надмірне внесення добрив може спричинити накопичення нітратів у ґрунті, що веде до їх вимивання в підземні та поверхневі води, а також викиди парникових газів, зокрема закису азоту, який є потужним парниковим газом. Рівномірне внесення добрив допомагає зменшити ці ризики, підтримуючи стабільний рівень поживних речовин у ґрунті і знижуючи можливість їх надлишку.

Все це сприяє більш здоровому і стабільному росту рослин, кінцева продукція часто має кращу якість, наприклад, більш однорідні плоди з кращими смаковими та товарними характеристиками. Це може покращити ринкову цінність продукції.

Рівномірне внесення добрив допомагає підтримувати здоровий баланс поживних речовин у ґрунті, що є важливим для підтримання його плодючості та структури. Надлишки добрив можуть змінювати рН ґрунту, збільшувати солоність або виснажувати важливі мікроелементи, що в кінцевому результаті негативно впливає на ґрунт та його продуктивність..

# 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ВНЕСЕННЯ ДОБРІВ

## 1.1 Мінеральні добрива як основні елементи для живлення рослин

Мінеральні добрива є основним джерелом живильних елементів для рослин, включаючи основні макроелементи, такі як азот, фосфор і калій, які є критично важливими для їх розвитку та росту. Макроелементи споживаються рослинами в значних кількостях і відіграють ключову роль у формуванні основних органічних структур через процеси фотосинтезу. Крім основних трьох, до макроелементів також належать кальцій, магній, сірка та залізо, які підтримують цілісність рослинних клітин та допомагають у процесах обміну речовин.

Окрім макроелементів, рослини потребують і мікроелементів, які, хоч і використовуються в мінімальних кількостях, не менш важливі для їх здоров'я. Мікроелементи включають марганець, бор, мідь, цинк, молібден, йод, кобальт та інші. Ці елементи життєво важливі для каталізу різних біохімічних реакцій, зміцнення імунної системи рослин, а також для синтезу важливих ферментів та гормонів.

Без наявності будь-якого із цих елементів у достатній кількості, рослина стикається з порушеннями в рості та розвитку, що може призвести до хворобливості або навіть загибелі. Тому важливо забезпечити, щоб ґрунт був насичений всіма необхідними мінеральними елементами в оптимальних пропорціях.

Мінеральні добрива вносяться для підтримки родючості ґрунту та забезпечення рослин необхідними елементами для формування їх основних органів, таких як стебла, листя, квіти, плоди та бульби. Це дозволяє не тільки підвищити кількість і якість урожаю, але й значно покращує загальний стан здоров'я рослин, що в свою чергу сприяє кращій стійкості до хвороб та шкідників.

Ґрунти містять всі необхідні рослинам мінеральні живильні елементи, але часто у недостатніх кількостях для їх оптимального зростання. Наприклад, піщані ґрунти часто мають дефіцит магнію, торф'яні — молібдену, а на чорноземах може бракувати марганцю. Ці дефіцити можна ефективно усунути за допомогою відповідних мінеральних добрив. Також за допомогою вуглекислих солей кальцію та магнію коригують кислотність ґрунтів, що покращує їхні властивості та збільшує доступність поживних речовин.

Застосування мінеральних добрив є ключовим елементом інтенсивного землеробства, що дозволяє суттєво збільшити урожайність на існуючих агрокультурних площах без потреби в освоєнні нових земель. Це також можливість реабілітації непродуктивних, зневоднених земель.

Мінеральні живильні речовини необхідні всім живим організмам для регулювання біохімічних реакцій. Наприклад, мікроелементи, такі як залізо, марганець, цинк та молібден, є важливими компонентами ферментів, що каталізують окислювально-відновні процеси. Залізо також сприяє синтезу хлорофілу, важливого для фотосинтезу. Внесення молібдену, навіть у невеликих кількостях, може різко збільшити урожайність бобових культур, оскільки молібденові з'єднання підсилюють каталітичну активність ферментів, важливих для фіксації атмосферного азоту бактеріями.

Мінеральні добрива, які виробляються хімічною промисловістю, можна класифікувати наступним чином:

Фосфорні добрива є ключовими для підтримки родючості ґрунтів та здоров'я рослин. Природні мінерали, такі як фосфорити та апатити, містять фосфор у формі нерозчинного третинного фосфату кальцію ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ), який є погано доступним для рослин. Щоб перетворити цей фосфор у форму, легко засвоювану рослинами, фосфорити зазнають хімічної обробки. Цей процес включає перетворення нерозчинної солі у кислу форму, результатом якої є виробництво основних типів фосфорних добрив, таких як суперфосфат та подвійний суперфосфат.



Азотні добрива забезпечують рослини необхідним азотом і поділяються на декілька типів.

Аміачні та амонійні добрив. Це включає рідкий аміак ( $\text{NH}_3$ ), аміачну воду, сульфат амонію, амоній-натрієві сульфати тощо. У ґрунті ці добрива перетворюються на менш рухливі форми, які за допомогою нітрифікуючих бактерій перетворюються на більш доступні рослинам форми азоту. Їх застосовують на різних типах ґрунтів, включаючи кислі та некислі, особливо під час вапнування.

Нітратні добрива. Включають натрієву та кальцієву селітри. Ці добрива можуть викликати алкалізацію ґрунтів при тривалому застосуванні. Вони ефективні для передпосівного внесення та додаткового живлення рослин під час вегетації на всіх типах ґрунтів.

Амонійно-нітратні добрива. Ці добрива, такі як аміачна селітра та її похідні, а також вапняно-аміачна селітра (суміш  $\text{CaCO}_3$  та  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), є придатними для використання у різних кліматичних зонах, під всі типи ґрунтів та культур. Вони забезпечують ефективне живлення азотом, зміцнюючи стійкість та продуктивність рослин.

Користування такими добривами має велике значення для сучасного аграрного виробництва, дозволяючи оптимізувати врожайність і якість сільськогосподарських культур, а також підтримувати екологічний баланс ґрунтів.

Оптимальне застосування азотних добрив вимагає ретельного планування та управління. Важливо забезпечити, щоб добрива вносилися в ґрунт у такий спосіб та час, який найбільше сприяє їх ефективному засвоєнню рослинами, мінімізуючи при цьому втрати азоту через вимивання чи випаровування.

Калієві добрива відіграють незамінну роль у забезпеченні поживного режиму сільськогосподарських культур, особливо важливі для підтримки оптимального водного балансу, активації ферментів та підвищення врожайності та якості плодів. Ці добрива є основним джерелом калію, який є критично важливим макроелементом для рослин.

Види калієвих добрив.

Калієві добрива класифікуються за типами та способами їх виробництва.

Сирі калієві солі.

Сильвініт та каїніт – мінерали, які використовуються у натуральній формі або після механічного роздроблення та подрібнення.

Хімічно перероблені добрива.

Хлористий калій (KCl) – найпоширеніша форма калієвого добрива, отримується шляхом хімічної переробки калієвих солей.

Сірчаноокислий калій (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) – застосовується для культур, чутливих до хлору, які вирощуються на солонцюватих ґрунтах.

Змішані калієві солі.

Механічні суміші хлористого калію з сильвінітом або каїнітом у пропорціях 30% і 40%.

Сульфат калію-магнію (калімагnezія).

Використовується для підвищення вмісту калію та магнію, особливо на магній-дефіцитних ґрунтах.

Деревна, торф'яна та інша рослинна зола.

Натуральне джерело калію, яке також може містити інші корисні мікроелементи, зокрема магній і фосфор. Ці добрива є екологічно чистими та підходять для органічного землеробства.

Калієві добрива відіграють незамінну роль у забезпеченні поживного режиму сільськогосподарських культур, особливо важливі для підтримки оптимального водного балансу, активації ферментів та підвищення врожайності та якості плодів. Ці добрива є основним джерелом калію, який є критично важливим макроелементом для рослин.

## 1.2 Форма внесення добрив – ефективність їх засвоєння

Засвоєння добрив рослинами є складним процесом, який залежить від багатьох факторів, включаючи тип добрива, форму, в якій воно подається, стан ґрунту, водний режим, кліматичні умови, а також від самої рослини. Щоб зрозуміти, як рослини засвоюють поживні речовини з добрив, важливо розглянути наступні аспекти.

**Форма добрива.**

**Розчинність.** Рослини засвоюють поживні речовини через свої корені, переважно у вигляді розчинних іонів. Тому добрива, що швидко розчиняються у воді, як правило, є більш ефективними для швидкого засвоєння. Наприклад, нітрат амонію або сульфат калію швидко розчиняються та стають доступними для рослин.

**Хімічна форма.** Наприклад, азот може бути у формі амонію ( $\text{NH}_4^+$ ) або нітрату ( $\text{NO}_3^-$ ). Нітратний азот легше засвоюється рослинами, оскільки він не потребує додаткової енергії для перетворення перед засвоєнням, на відміну від амонійного азоту, який мусить спочатку бути перетворений у нітрат у ґрунті.

**Взаємодія з ґрунтом.**

Значення рН може значно впливати на доступність поживних речовин. Деякі елементи, як залізо та фосфор, стають менш доступними для рослин у вапняних (високий рН) ґрунтах.

**Катіонний обмін.** Ґрунти з високим катіонним обмінним потенціалом (КОП) можуть ефективніше утримувати поживні речовини, такі як калій, і поступово віддавати їх рослинам, що сприяє більш тривалому засвоєнню.

**Мікробіологічна активність.** Мікроорганізми в ґрунті можуть перетворювати поживні речовини у форми, доступніші для рослин, а також виробляти природні ростові стимулятори.

**Водний режим.** Доступність води критично важлива для засвоєння добрив, оскільки поживні речовини мігрують до кореневої системи рослин переважно через масовий потік в розчиненому стані. Недостатнє зволоження

може значно знизити ефективність засвоєння поживних речовин, адже водний стрес призводить до зменшення кореневої активності та обмежує їхню здатність до поглинання іонів.

Кліматичні умови.

Температура. Рослинне засвоєння поживних речовин залежить від температури, яка впливає на біохімічні процеси в коренях та мікроорганізмів в ґрунті. Зокрема, низька температура може сповільнювати метаболізм рослин і мікробну активність, що в свою чергу знижує швидкість нітрифікації амонію та засвоєння фосфору.

Вологість. Оптимальна вологість повітря сприяє кращій фотосинтетичній активності рослин, збільшуючи їх здатність до поглинання та використання поживних речовин. Занадто висока або низька вологість може призвести до фізіологічних стресів, що обмежують ці процеси [35].

Роль корневих ексудатів.

Рослини виробляють і виділяють різні органічні сполуки через свої корені, відомі як кореневі ексудати. Ці сполуки можуть модифікувати мікробіологічний склад ґрунту, сприяти розкладанню органічної матерії та збільшувати доступність поживних речовин. Наприклад, кислоти можуть розчиняти мінеральні фосфати, роблячи фосфор доступнішим для рослин.

Синергія та антагонізм між поживними речовинами.

Засвоєння одних поживних речовин може бути підвищене або знижене через взаємодію з іншими. Наприклад, високий рівень калію може перешкоджати засвоєнню магнію та кальцію, тоді як достатня присутність магнію може сприяти кращому засвоєнню фосфору.

### **1.3 Підвищення ефективності використання машин для внесення мінеральних добрив**

У сучасному агротехнологічному процесі кінцевим етапом у ланцюзі використання добрив є їх аплікація та інтеграція у ґрунт. Якість цього процесу визначають такі ключові параметри, як дозування добрив, нерівномірність їх розподілу по площі поля, стабільність внесених доз та ефективність покриття робочою зоною агрегату. Ці показники є вирішальними для досягнення оптимального агрономічного ефекту [1-7, 10-11].

Основною технологічною операцією, на якість якої значно впливає загальна ефективність використання добрив, є їх рівномірний розподіл на поверхні поля. Наукові дослідження Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії» підтверджують, що ефективність використання як твердих, так і рідких мінеральних добрив прямо пропорційна рівномірності їхнього внесення. Зокрема, покращення рівномірності внесення на 1% може збільшити урожайність також на 1%, демонструючи тісний зв'язок між технічною точністю аплікації добрив і агрономічними результатами.

Нерівномірний розподіл добрив, який перевищує прийнятні норми, має бути розглянутий не лише як фактор, що знижує урожайність агрокультур, але й як причина значних втрат добрив. Це веде до економічних збитків та негативного впливу на довкілля через нераціональне їх використання [16-18].

Парк агротехніки зазвичай складається з навісних та причіпних машин, обладнаних відцентровими дисками з регульованими лопатками. Змінні параметри лопаток дозволяють адаптувати машини до різних типів добрив та умов їх внесення, забезпечуючи можливість вибору понад 900 налаштувань кожного диска. Така складність вимагає наявності спеціалізованих стендів для точної та оперативної настройки агрегатів, що часто недоступно у польових умовах.

Коректне налаштування лопаток критично важливе для забезпечення оптимальної робочої ширини захоплення машини, яка впливає на відстань між

проходами агрегату. Це, в свою чергу, гарантує рівномірний розподіл добрив по поверхні поля. Важливо систематично перевіряти положення лопаток при зміні видів та доз добрив, відповідно до рекомендацій виробника, щоб забезпечити ефективність внесення та мінімізувати втрати дорогоцінних агрохімікатів.

Якість розподілу мінеральних добрив відцентровими розсіювачами залежить від багатьох факторів. Серед них — характеристики самого добрива, такі як розмір і форма гранул, їх сипучість, а також зовнішні умови, включаючи рельєф поля, ступінь вирівняності ґрунту, інтенсивність вітру. Крім того, результативність роботи значною мірою залежить від професіоналізму та відповідальності оператора, зокрема від його дотримання оптимальної швидкості руху машини.

Щоб забезпечити внесення добрив з прийнятною ступенем нерівномірності, де допустимий коефіцієнт варіації складає  $\pm 10\%$  для азотних та  $\pm 20\%$  для калієвих та фосфорних добрив, необхідно строго слідувати технічним регламентам. Це включає ретельне регулювання робочих органів машини, правильне налаштування швидкості її переміщення та використання адаптованого до умов поля обладнання.

Інші чинники, що ускладнюють досягнення високої якості розподілу добрив, включають варіативність ґрунтових умов, коливання кліматичних умов, і потребу в регулярному сервісному обслуговуванні обладнання. На ілюстрації 1.1 ясно показано оптимальне розташування машини відносно поверхні поля і трактора, що є критичним для забезпечення рівномірного розподілу добрив [22, 23].

Таким чином, комплексний підхід до регулювання технологічного процесу внесення добрив і врахування всіх вищезгаданих аспектів може значно покращити їх агрономічну ефективність і зменшити втрати цінних агрохімікатів [39].

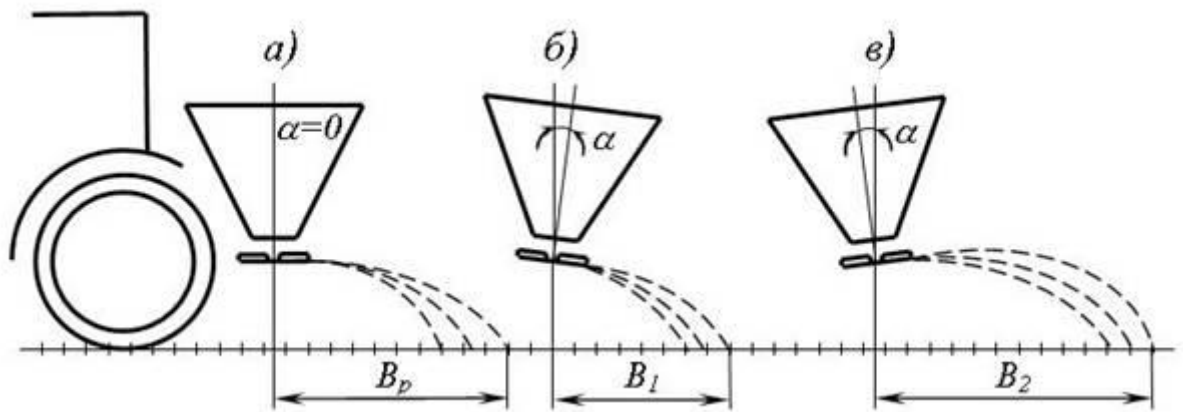


Рисунок 1.1 – Вплив розташування розкидача на нерівномірність внесення добрив

На рис. 1.1 представлено, як відхилення осі розсіювача від вертикалі в подовжній і поперечній площинах впливає на нерівномірність внесення добрив. Коли машина нахилена назад під кутом  $\alpha$  (як показано на рисунку 1.1б), ширина розкидання добрив значно знижується порівняно з розрахунковою. Це призводить до збільшення густини висіву добрив на одиницю площі, що створює ризик виникнення прогалін між суміжними проходами машини. Натомість, на рисунку 1.1в, де машина нахилена вперед, дальність польоту частинок добрив збільшується, що також впливає на нерівномірність дози внесення на поле.

Додатково, на рис. 1.2 можна спостерігати як зміна висоти навішування розсіювача відносно розрахункової впливає на дальність польоту добрив. Зменшення висоти призводить до скорочення дальності розкидання, що зменшує ефективну дозу добрив на площу. Однією з основних причин таких змін є несправності гідросистеми трактора, яка під дією ваги розсіювача може неконтрольовано опускатися, незважаючи на замкнене положення золотника гідророзподільника. Така поведінка системи змушує оператора підтримувати максимально можливу висоту підвіски, що, як показано на рисунках 1.1б та в, спричинює зміни в кутах нахилу машини.

Таким чином, для забезпечення оптимальної якості розкидання і мінімізації нерівномірності внесення добрив важливо не тільки точно

налаштовувати машину, але й уважно стежити за станом гідросистеми трактора та коректувати налаштування в залежності від змін умов роботи. Ці заходи допоможуть знизити потенційні втрати добрив і підвищити ефективність агротехнічних заходів.

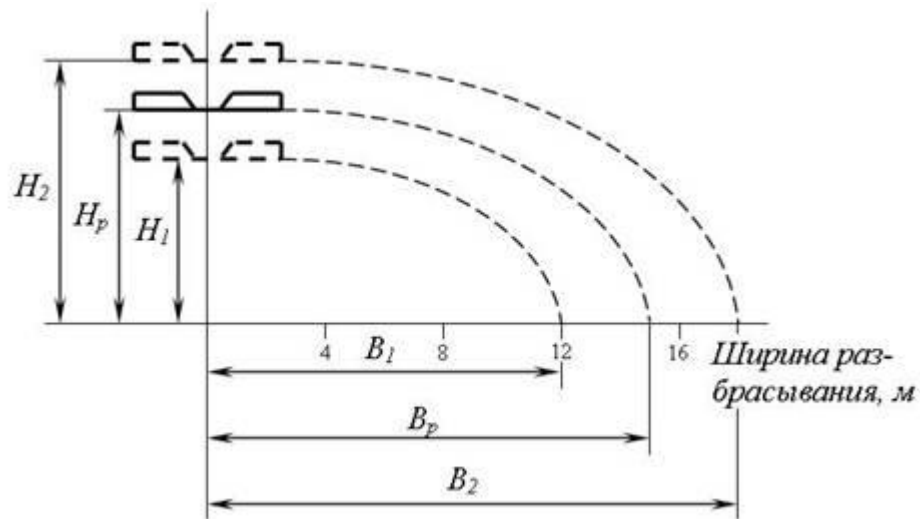


Рисунок 1.2 – Вплив висоти розташування розсіювача щодо поверхні ґрунту на нерівномірність внесення добрив

Позиціонування навісного відцентрового розсіювача часто виявляється неправильним через неточне навішування на гідросистему трактора або через нерівності оброблюваних полів. Ці фактори систематично спричиняють проблеми з розподілом добрив, які ускладнюються додатковим зносом частинок, кинутих вітром. З огляду на ці обставини, часто важко дотримуватися допустимих меж розкидання добрив за допомогою таких машин.

На відміну від навісних моделей, причіпні відцентрові розкидачі зазвичай не стикаються з цією проблемою, оскільки висота розміщення їхніх дисків над поверхнею поля залишається стабільною, що сприяє більш рівномірному розподілу.

В контексті використання відцентрових розкидачів для підгодівлі сільськогосподарських культур, особливо важливо звернути увагу на період застосування. Ідеально, ці машини не повинні використовуватися під час пізньої вегетації, оскільки диском кинуті частинки добрив можуть



локалізуватись у стеблах рослин, що призводить до неефективного поглинання добрив та потенційної шкоди для рослин (як зображено на рис. 1.3). Це ускладнює адекватне засвоєння поживних речовин культурами та може негативно вплинути на їхній ріст та розвиток.

Таким чином, для оптимального використання відцентрових розкидачів важливо враховувати всі зазначені аспекти, включаючи правильні налаштування машини, обрання відповідного часу для добривних заходів, та адаптацію до специфічних умов поля. Це дозволить знизити ризик нерівномірного розподілу добрив та забезпечить більш ефективне використання агротехнологій.

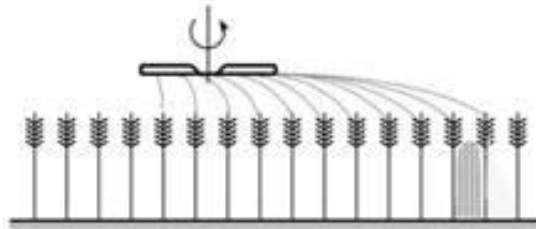


Рисунок 1.3– Розсіювання добрив при взаємодії із стеблестоем

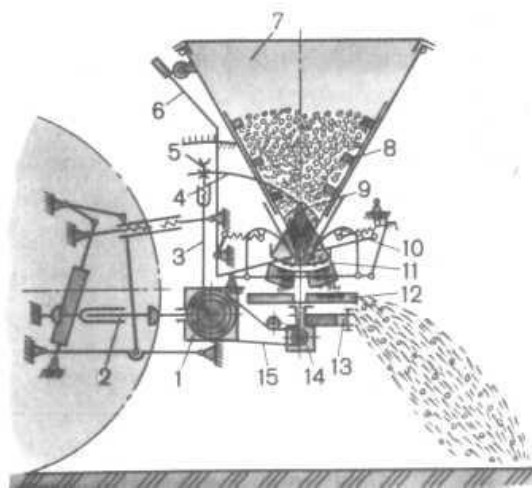
В період активного впровадження інтенсивних технологій обробки зернових культур, коли спеціалізоване обладнання для точного дозування добрив ще не було розроблено, одним з методів вирішення проблеми нерівномірності відцентрових розкидачів було використання додаткових рам, що дозволяли піднімати машини на більшу висоту.

Швидкість вітру має значний вплив на якість розподілу добрив цими машинами. В умовах, коли у 70% днів у році швидкість вітру в нашій країні перевищує 3 м/с, нерівномірність внесення добрив суттєво зростає, що ускладнює досягнення оптимальних агрономічних результатів.

## 1.4 Машина-аналоги для внесення мінеральних добрив

Розглянемо деякі конструкції агротехнічного обладнання, призначеного для внесення мінеральних добрив. Одним із таких пристроїв є навісна машина НРУ-0,5, що також може застосовуватися для розсівання насіння сидератів, таких як люпин та гірчиця, які використовуються в якості зеленого добрива. Насіння сидератів висівається між рядами садів, після чого рослини скошують і вкладають у ґрунт для збагачення міжрядь.

Машина оснащена активними зворушувачами на задній і передній стінках бункера для безперервного висіву. Регулювання висівної щілини здійснюється за допомогою переміщення важеля уздовж зубчатого сектора. Під заслінками бункера знаходиться зигзагоподібна висіваюча планка, що здійснює коливальний рух і виштовхує добрива через висівні щілини на розкидаючі диски [39].



1 — головний конічний редуктор; 2 — карданний вал; 3 — кривошипно-шатунний механізм; 4 — коромисло; 5 — повзун; 6 — важіль; 7 — бункер; 8 — зворушувач; 9 — коливальний вал; 10 — заслінка; 11 — висіваюча планка; 12 — розкидаючий диск; 13 — причіпна скоба; 14 — конічний редуктор диска; 15 — ланцюгова передача.

Рисунок 1.4 – Схема робочого процесу машини НРУ-0,5

Ці диски, прикріплені до вертикальних валів конічних редукторів, обертаються, розподіляючи добрива уніформно по ґрунту. Привід машини відбувається від валу відбору потужності трактора. Амплітуду коливань

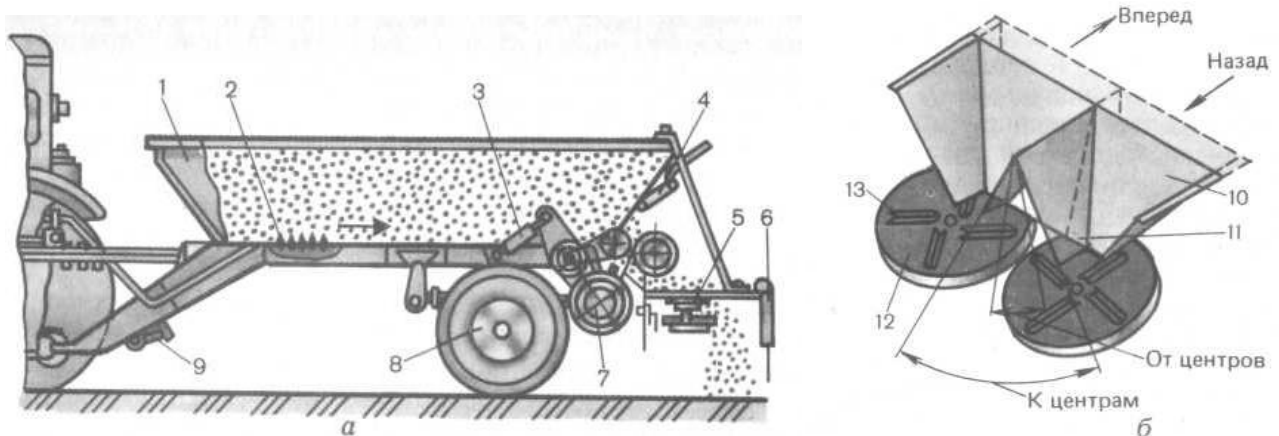
висіваючої планки можна регулювати, змінюючи положення повзуна на коромислі. Розкидаючі диски приводяться в рух через ланцюгову передачу зі змінними зірочками.

Таким чином, дозування мінеральних добрив та насіння сидератів можна точно налаштувати, що забезпечує ефективне і рівномірне внесення. Металева сітка, розташована над бункером, захищає механізм від великих грудок ґрунту.

Машина НРУ-0,5 призначена для кріплення на трактори тягового класу від 0.9 до 1.4. Вона має бункер об'ємом 400 дм<sup>3</sup> та може працювати на швидкостях до 12 км/год. Ширина захоплення агрегату досягає 11 метрів. Для захисту вмісту бункера від погодних умов, таких як сильний вітер, використовують тент та спеціальний вітрозахисний пристрій. Експлуатацію машини здійснює один тракторист.

Навісна машина РМС-6 ефективно використовується для аплікації добрив і сидератів на рівнинних полях, у садах, а також на гірських територіях із ухилом до 20°. Ця машина також має бункер об'ємом 400 дм<sup>3</sup> і агрегується з гірським трактором тягового класу 1.4.

Машина 1-РМГ-4 призначена для розподілу твердих мінеральних добрив.



а — технологічна схема; б — схема тукодільника; 1 — кузов; 2 — транспортер; 3 — гідроциліндр; 4 — дозуючий пристрій; 5 і 12 — розкидаючі диски; 6 — вітрозахисний пристрій; 7 — пневматичний ролик; 8 — ходове колесо; 9 — опора причепа; 10 — тукоподільник; 11 — шарнірна внутрішня стінка; 13 — лопатка

Рисунок 1.5 – Схема робочого процесу машини 1-РМГ-4

Особливість цієї моделі полягає у суцільнозварному кузові, який

опирається на підресорене шасі. Транспортна система, розміщена на підлозі кузова, складається з гнутих прутков, які рухаються по направляючих жолобах, що дозволяє ефективно очищати їх від залишків добрив. Задня стінка кузова оснащена регульованим дозуючим пристроєм з заслінкою.

Транспортер установлено на зірочках ведучого вала та роликах відомого вала та приводиться в дію за допомогою лівого колеса 8. Це колесо керується пневматичним натискним роликом 7 і ланцюговою передачею. У транспортному положенні ролик відсувається від колеса завдяки дії гідроциліндра 3. Швидкість транспортера можна регулювати, переміщуючи ланцюг між зірочками ведучого і відомого валів.

Тукороздільник, який складається з двох коробчатих лотків 10, розподіляє потік добрив на дві частини і спрямовує їх до розкидаючих дисків. Внутрішні стінки лотків 11 кріпляться на шарнірах, і їхня перестановка дозволяє змінити точку випадання добрив на диски.

Для розсіювання добрив використовуються горизонтальні обертові диски 12 з лопатками-жолобами 13. Правий диск приводиться в рух шестерінчастим гідромотором.

Добрива завантажують у кузов за допомогою навантажувача, після чого транспортер переміщає їх до дозуючого пристрою і тукороздільника, звідки матеріал потрапляє на розкидаючі диски, що обертаються в протилежних напрямках.

В умовах сильного вітру кузов машини захищають тентом, а розкидаючі диски — спеціальним вітрозахисним пристроєм 6.

Дозування добрив (від 100 до 5000 кг/га) можна точно регулювати, змінюючи швидкість руху транспортера та положення дозуючої заслінки. Регулювання заслінки відбувається за допомогою шкали, яка показує розмір вікна дозатора, і користувач може налаштувати необхідні параметри, керуючись таблицею, нанесеною на кузов машини.

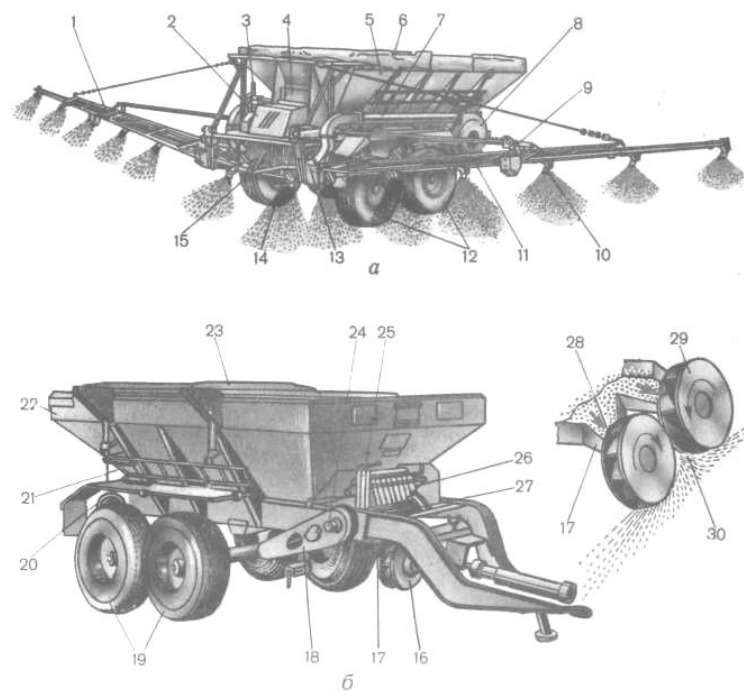
Для забезпечення рівномірності розсіювання добрив, тукороздільник можна переміщати уздовж кузова, а також регулювати кут повороту внутрішніх стінок

лотків, що дозволяє оптимально розподілити матеріал по поверхні поля.

Натяг транспортера підтримується регулюванням положення веденої осі за допомогою болтів. Прутки транспортера мають щільно прилягати до підлоги кузова, тоді як під кузовом допускається провисання на 10 мм, що забезпечує правильне функціонування механізму.

Колеса машини обладнані гідравлічними гальмами, які контролюються трактористом. Під час стоянки необхідно використовувати опору, яка опускається для забезпечення стабільності.

Ширина смуги розкидання добрив становить від 6 до 14 метрів, а при використанні вітрозахисного пристрою ширина зменшується до 6 метрів. Робоча швидкість агрегата варіюється від 6 до 10 км/год. Машина 1-РМГ-4 агрегується з трактором тягового класу 1.4, що оснащений гідрогаком і має необхідні висновки для підключення додаткового електрообладнання.



а — РУМ-5-03; б — СТТ-10; 1 і 9 — штанги; 2 — живильник-дільник; 3 і 25 — механізми переміщення заслінок; 4, 21 і 26 — заслінки; 5 і 22 — кузова; 6 і 23 — сітки; 7 — повітрепровід; 8 — вентилятор; 10 — розпилюючий наконечник; 11 — труба; 12 і 19 — колеса; 13 — розподільник повітря; 14 і 27 — транспортери; 15 і 17 — туконаправлячі; 16 — розподіляючий пристрій; 18 — передача; 20 і 24 — вали; 28 і 29 — ротори; 30 — лопатка.

Рисунок 1.6 – Машини для внесення мінеральних добрив з підвищеною рівномірністю

Такі технічні можливості роблять машину гнучкою в експлуатації та ефективною для використання в різноманітних агрономічних умовах.

Машина обслуговується кваліфікованим трактористом, який відповідає за її налаштування та експлуатацію. Моделі РУМ-5, РУМ-8 та РУМ-16 мають аналогічні конструкції та робочі процеси до машини 1-РМГ-4, з вантажопідйомностями відповідно 5, 10 та 16 тонн.

Машина РУМ-5-03 призначена для первинного та підживлюючого внесення мінеральних добрив у зернові культури, що вирощуються за інтенсивними агротехнічними методами. Основні компоненти машини включають кузов 5, туконапрямляч 15, праву 9 та ліву 1 штангу, пневмосистему, ходові колеса 12 та привідний механізм. Кузов машини зварний і обладнаний транспортером лозини 14, захисною сіткою 6, дозуючою заслінкою 4 з механізмом переміщення 3 і брезентовим тентом для захисту від негоди.

При розсіванні добрив, транспортер 14 приводиться в рух від заднього опорно-ходового колеса через привідний ролик та ланцюгову передачу, схожу на ту, що використовується в 1-РМГ-4. Для вивантаження невикористаних добрив, транспортер активується від вала відбору потужності (ВОМ) трактора через передачу, розміщену перед кузовом. Опорно-ходові колеса розташовані на колії шириною 1800 мм для стабільності на полях.

Туконапрямляч, що знаходиться під задньою частиною транспортера, має чотирнадцять секцій, кожна з яких оснащена приймачем, поворотною заслінкою, патрубком і соплом для точного розподілу добрив. Патрубок кожної секції з'єднаний з розподільником повітря 13 в пневмосистемі, а сопло сполучене з відповідною розподільною трубою 11. Секції штанги складаються з каркаса, набору пластмасових розподільних труб різної довжини, направляючих, ділильного пристрою та відбивачів, розташованих на розпилюючих наконечниках 10 труб. Ця конструкція забезпечує ефективне та рівномірне розподілення добрив по оброблюваній поверхні.

Пневмосистема машини складається з двох вентиляторів 8, розташованих

на боковинах кузова, які забезпечують повітряний потік, двох повітрепроводів 7 і двох розподільників повітря 13. Патрубки цих розподільників з'єднані трубами з патрубками туконаправляча для ефективного розподілу добрив.

У процесі руху, транспортер 14 транспортує добрива через вікно під дозуючою заслінкою 4 до туконаправляча 15. Відтам, добрива рівномірно розподіляються приймачами по патрубках, потім засмоктуються і переміщуються потоком повітря, створеним вентиляторами, в труби 11 штанги. З цих труб добрива виходять через наконечники 10 у вигляді аеросуміші, яку відбивачі направляють на поля.

Дозу внесення добрив можна регулювати в діапазоні від 100 до 1000 кг/га, змінюючи положення заслінки 4 згідно з таблицею на корпусі машини.

Машина агрегується з тракторами МТЗ-80 і МТЗ-82, має вантажопідйомність кузова 5 тонн, ширину захоплення 12 метрів, максимальну робочу швидкість до 10 км/год, і продуктивність до 7 га/год при дозі внесення 220 кг/га.

Машина СТТ-10, призначена для внесення мінеральних добрив, забезпечує підвищену рівномірність розподілу з індексом нерівномірності не більше  $\pm 15\%$ . Це обладнання ідеально підходить для інтенсивних агротехнічних операцій з зерновими культурами, а також для транспортування добрив, зерна, та інших сипучих матеріалів з можливістю розвантаження через спеціальне вікно в задній стінці кузова.

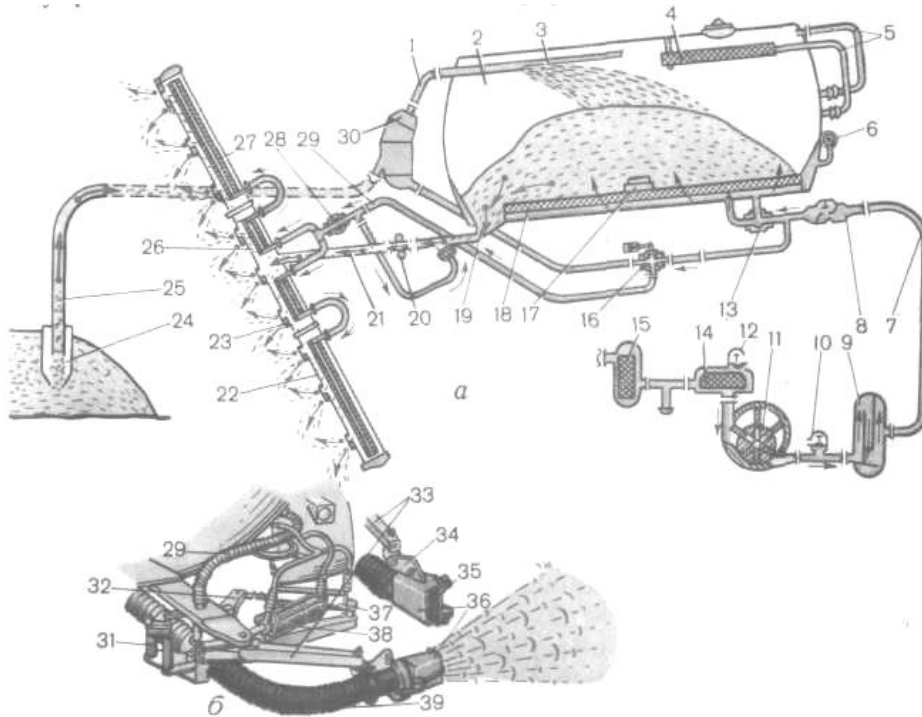
Машини для внесення пилоподібних добрив.

Вапно та гіпс відіграють ключову роль у нейтралізації кислотності чи засоленості ґрунтів, одночасно покращуючи їх структуру, мікробіологічну активність та водний баланс. Це сприяє створенню оптимальних умов для зростання сільськогосподарських культур та збільшенню врожаю. На ринку представлені пилоподібні вапняні добрива, такі як вапнякова та доломітова мука, які розсіваються за допомогою спеціалізованих машин.

Машина РУП-14 розроблена спеціально для транспортування та розподілу пилоподібних добрив та меліорантів по полях. Це агрегат, що працює

в комплекті з трактором К-701, з'єднаний через сидільно-зчіпний пристрій [14].

Конструкція машини включає цистерну, пневмосистему, системи для завантаження та розвантаження, а також штанговий розподіляч. Цистерна об'ємом 11.8 м<sup>3</sup> встановлена на двовісному напівпричепі з нахилом назад для оптимального розвантаження. Внутрішнє обладнання цистерни включає



а — схема робочого процесу розкидання РУП-14; б — замочно-розпилюючий пристрій розкидань АРУП-8 і РУП-8; 1 — завантажувальна магістраль; 2 — цистерна; 3 — труба; 4, 14 і 15 — фільтри; 5, 7, 25, 29 і 39 — рукави; 6 — манометр-вакуумметр; 8 — зворотний клапан; 9 — вологомасловідділювач; 10 і 12 — запобіжні клапани; 11 — компресор; 13, 16 і 28 — крани; 17 — датчик-сигналізатор; 18 — аероднище; 19 — горловина; 20 — замочний пристрій; 21 — розвантажувальна магістраль; 22, 26 і 27 — секції штанги; 23 — дозуючі шайби; 24 — сопло; 30 — каменевловлювач; 31 — ролик; 32 — механізм важеля; 33 — важіль; 34 — косинка; 35 — дозуюча заслінка; 36 — наконечник; 37 і 38 — пневмоциліндри.

Рисунок 1.7 – Машини для внесення пилоподібних добрив

завантажувальну трубу, два фільтри першого ступеня для очищення повітря, датчик-сигналізатор для моніторингу рівня добрив і два аероднища з пористого матеріалу в нижній частині цистерни. Аероднища розміщені над ізолюваною порожниною, що сполучена з нагнітальною частиною пневмосистеми. Люк для



обслуговування цих елементів розташований у задній частині цистерни та закривається знімною кришкою. На передній стінці цистерни вмонтовано манометр-вакуумметр, а на верхній частині — завантажувальний люк з кришкою.

Така комплексна система не тільки забезпечує ефективне внесення добрив, але й дозволяє точно контролювати процес завантаження та розсівання, забезпечуючи високу ефективність роботи на полі.

Штанговий розподіляч добрив складається з центральної труби 26 та двох бічних труб 22 і 27, які з'єднані між собою шарнірами. В трубах встановлені аератори, що створюють завихрення потоку, забезпечуючи тим самим рівномірний розподіл добрив по всій довжині труби. Під випускними отворами на трубах закріплені дозуючі шайби 23 із чотирма отворами різного діаметру. Регулювання потоку добрив здійснюється шляхом повороту шайб, що дозволяє суміщати їх отвори з отворами труб та змінювати перетин випускних каналів. До шайб приєднані воронки з парою гнучких труб, які функціонують як гасителі потоку.

Для переміщення в транспортне положення бічні секції штанги складаються за допомогою гідроциліндрів та фіксуються спеціальними засобами на боковинах цистерни. При цьому гасителі потоку автоматично піднімаються і складаються вздовж штанги.

Машина здатна виконувати три основні функції: самозавантаження, розсівання добрив по полю та перевантаження добрив у іншу техніку або на складські місткості. Для активації режиму самозавантаження перекривають рукав розвантажувальної магістралі 21 і крани пневмосистеми, підключають рукави 5 до фільтра 15, приєднують заправний рукав 25 з огорожним соплом 24 до корпусу каменевловлювача 30 та включають компресор. Таке оснащення машини дозволяє з легкістю адаптуватися до різних робочих умов і значно підвищує її продуктивність на полі.

Регулювання дозування добрив у машині РУП-14 здійснюється за допомогою повороту та зміни конфігурації дозуючих шайб 23, а також шляхом

адаптації швидкості руху агрегату. Ці шайби оснащені отворами різних діаметрів, що дозволяє з легкістю змінювати об'єм випускного потоку добрив. До комплекту машини входять два набори шайб, які дозволяють реалізувати широкий діапазон дозувань — від мінімальних 0,6 т/га до максимальних 10 т/га, покриваючи потреби як для великих, так і для середніх та малих внесень.

Для точної настройки машини на потрібну дозу внесення добрив використовується спеціальна таблиця дозування, яка допомагає трактористу легко вибрати необхідні параметри відповідно до типу добрив та агротехнічних вимог поля. Такий підхід значно спрощує налаштування обладнання і забезпечує його високу ефективність, знижуючи витрати на добрива та забезпечуючи оптимальне їх розподілення на оброблюваних територіях.

Завдяки цьому, РУП-14 є незамінним агрегатом для точного та рівномірного внесення добрив, що критично важливо для підтримки здорового росту та розвитку сільськогосподарських культур на великих аграрних площах.

## 2 РЕКОМЕНДАЦІ З ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВНЕСЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

### 2.1 Основні підходи до більш точного та рівномірного внесення добрив

На відміну від відцентрових машин, штангові підживлювачі, такі як навісний штанговий підживлювач РШУ-12 та причіпний штанговий підживлювач МТТ-4Ш, обидва розроблені Науково-практичним центром Національної академії наук Білорусі з механізації сільського господарства і вироблені відповідно компаніями «Лідагропромаш» та «Бобруйськагромаш», ефективно усувають ці недоліки. Штангові підживлювачі забезпечують більш точне та рівномірне внесення добрив незалежно від вітрових умов, що підтверджено схемами роботи, зокрема, представленими на рис. 2.1.

Такі технічні рішення значно підвищують ефективність агротехнічних заходів, знижуючи втрати добрив та забезпечуючи краще засвоєння поживних речовин рослинами, що сприяє підвищенню урожайності та якості агропродукції [38].

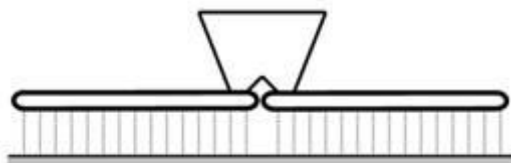


Рисунок 2.1 – Схема роботи РШУ-12

Спеціальні дослідження, проведені РНДУП "Інститут ґрунтознавства і агрохімії", а також досвід провідних агропідприємств демонструють переваги використання штангового підживлювача РШУ-12 у порівнянні з традиційними відцентровими розкидачами. Завдяки більш рівномірному розподілу добрив, РШУ-12 забезпечує збільшення урожайності зернових культур на до 4.2 ц/га.

Для оптимізації процесу внесення як основних, так і додаткових доз рідких мінеральних добрив було розроблено штангову машину АПЖ-12, виробництва ВАТ «Бобруйськагроماش». Однією з вирішальних особливостей цієї машини є її здатність ефективно розподіляти добрива, навіть забруднені сторонніми включеннями, що є критично важливим у контексті умов їх зберігання, що часто спостерігаються на практиці.

Щодо регулювання і налаштування, важливо відзначити, що незважаючи на принципову схожість між навісними та причіпними агрегатами, існують специфічні особливості, які потрібно враховувати під час експлуатації. Наприклад, машина МТТ-4У обладнана подаючими транспортерами з двома режимами швидкості: нижчою для внесення мінеральних добрив та вищою для внесення вапнякових матеріалів, що дозволяє адаптувати машину до різних типів агрохімікатів і значно підвищує її універсальність.

Ці особливості не тільки сприяють більш точному дозуванню та розподілу добрив, але й зменшують ризик засмічення системи, покращуючи загальну продуктивність і довговічність обладнання. Враховуючи ці параметри, аграріям варто звертати особливу увагу на регулярне технічне обслуговування та коректне налаштування машин для забезпечення максимальної ефективності внесення добрив.

Перемикання швидкості подаючих транспортерів в агротехнічних машинах здійснюється за допомогою наступного механізму: спочатку ланцюг приводу планетарного редуктора від'єднується і переставляється на альтернативну пару зірочок, після чого знову з'єднується. Далі, ланцюг приводу подаючих транспортерів роз'єднується, зірочки передачі обмінюються місцями, і ланцюг реінтегрується. В цьому процесі натяжна зірочка повністю ослабляється, щоб забезпечити коректну установку і напругу ланцюга.

Регулювання рівномірності розподілу добрив здійснюється за допомогою адаптації туконаправляча та направляючих на лотку. Це включає пересування туконаправляча по пазах і налаштування його положення залежно від типу добрива:

Для калієвої солі, аміачної селітри та пилоподібних добрив, нижній зріз склізу туконаправляча повинен бути синхронізований з осями розкидаючих тарілок, а направляючі встановлені на отвори №2.

Для гранульованого суперфосфату та сечовини, туконаправляч слід відсунути на 15 мм від осей тарілок, та встановити направляючі на отвори №3.

Дозування добрив налаштовується шляхом зміни висоти вікон, регулюванням положення дозуючих заслінок, а також коригуванням швидкості подаючих транспортерів відповідно до заданих параметрів у таблиці настройки (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Налаштування машини МТТ-4У

Налаштування машини МТТ-4У													
Швидкість подаючого транспортера 1,04 м/хв.			Норма внесення добрив, кг/га										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Вид добрив	Об'ємна маса, т/м <sup>3</sup>	Ширина внесення, м	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500
			Висота дозуючих вікон, мм										
Сечовина	0,65		55	105	160	210	255						
Аміачна селітра	0,8	11	40	80	125	170	210	250					
Сульфат амонію													
Калієва сіль	1,1	8	25	45	70	95	115	140	160	185	200		
Суперфосфат порошковий													
Суперфосфат гранульований	1,2	14	35	70	110	145	180	220	245				
Гіпс	1,5	11		45	70	95	115	140	160	185	200		
Вапняна і фосфатна мука	1,8	7			35	50	60	75	85	100	110	120	185

Для оптимальної роботи з розсіювачами РУ-1600 і РУ-3000, якісне виконання технологічних процесів залежить від ряду умов і налаштувань.

Залежно від рельєфу поля, довжини гону, наявності перешкод і інших факторів, оберіть швидкість руху агрегату. Виберіть відповідну робочу передачу трактора згідно із таблицею налаштувань.

В залежності від типу добрив та їх гранулометричного складу, налаштуйте направляючі та лопатки на металниках відповідно до вказівок у таблиці налаштувань.

Закрийте шибери за допомогою гідросистеми.

Налаштуйте дозуючі заслінки для необхідної дози внесення, враховуючи обрану швидкість та тип добрив, згідно з таблицею налаштувань.

Включіть вал відбору потужності (ВВП), почніть плавно рухатись, відкрийте шибери та наростіть частоту обертання колінчастого валу двигуна до номінальних обертів.

Муфта повинна передавати момент у  $115 \pm 5$  Н·м. Регулювання моменту проводиться затягуванням тарільчатої пружини. Для цього використовуйте важіль довжиною 1 метр з вантажем масою 11,5 кг на кінці. При передачі моменту 115 Н·м між ведучим і веденим дисками муфти має відбуватись легке прослизання. Після тривалого зберігання розсіювача пружину слід ослабити та знову налаштувати муфту.

Ці налаштування дозволять забезпечити точне і ефективне внесення добрив, а також зниження механічного зносу обладнання.

Для досягнення рівномірного розподілу матеріалу між металниками, важливо правильно відрегулювати дозуючу заслінку. Використовуйте палець діаметром 28 мм, який вставляється у відповідний отвір на нижньому важелі. Натискайте важелем на палець у отворі до тих пір, поки стрілка на шкалі не вкаже на значення 56.

Якщо поточне показання стрілки відрізняється, налаштуйте шкалу на 56, спочатку ослабивши фіксуючі гвинти. Після коректного встановлення значення, знову затягніть гвинти для фіксації шкали на потрібній позиції.

Відстань між верхньою площиною машини та низом днища має складати  $124 \pm 1,0$  мм. Регулювання цієї відстані здійснюйте шляхом переміщення приводу у вертикальних пазах рами з бункером. Це забезпечить оптимальне положення приводу для ефективної роботи машини.

Таке налаштування допоможе уникнути нерівномірного завантаження і збільшить ефективність використання обладнання.

Для коректного кріплення метальника потрібно виконати наступні кроки.

Затягування кріпильної гайки.

Вставте гайку з пластмасовим ковпачком на місце кріплення метальника.

Вставте болт M8x70 у відповідний отвір в днищі так, щоб кінець болта точно потрапив у центр гайки.

Регулювання приводу і дозуючого механізму.

Виконайте налаштування, переміщаючи привід уздовж подовжніх пазів на кронштейнах, які кріплять привід до рами з бункером.

Також здійсніть корекцію положення дозуючого механізму для оптимізації його роботи.

Регулювання метальника розсіювача.

Кожен диск метальника оснащений двома ідентичними крильчатками, які дозволяють налаштувати метальник з урахуванням специфіки добрив:

Встановлення кута крильчаток.

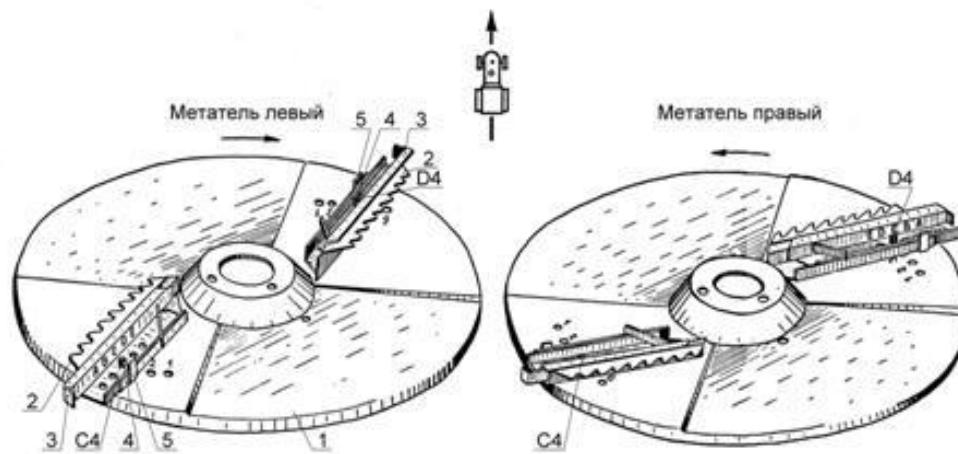
Крильчатки можуть бути встановлені під різними кутами, з можливістю вибору однієї з шести позицій (1...6), для регулювання траєкторії викиду добрив.

Регулювання довжини розміщення.

Крильчатки можуть бути налаштовані на різних довжинах (позиції A...B) відповідно до вимог розсіювання і типу добрив, що забезпечує максимальну ефективність внесення.

Ці налаштування допоможуть досягти оптимального розподілу добрив, забезпечуючи їх рівномірне внесення на всій оброблюваній площі і підвищуючи ефективність використання розсіювача. Особливу увагу слід

звернути на ретельне виконання всіх рекомендацій з регулювання, щоб уникнути помилок під час внесення добрив.



1 – диск; 2 – направляюча; 3 – лопатка; 4 – фіксатор; 5 – упор  
Рисунок 2.2 – Розподіляючі робочі органи

Налаштування крильчаток металників.

Для оптимального налаштування крильчаток металників, важливо використовувати параметри з таблиць налаштувань, які залежать від типу добрив, робочої ширини внесення та методу внесення.

Налаштування при внесенні добрив на краях поля.

Крильчатки на металнику, що звернений до краю поля, потрібно налаштувати відповідно до позицій, зазначених у таблиці розсіювання. На протилежному металнику крильчатки мають залишатися в стандартних позиціях. Важливо забезпечити однакове регулювання дозуючих заслінок на обох сторонах розсіювача для забезпечення рівномірності внесення.

Налаштування при внесенні добрив на вузьких смугах.

Для роботи на вузьких смугах, крильчатки на обох металниках мають бути налаштовані згідно з вказівками таблиці розсіювання.

Використання маркерних пристроїв.

Наявність маркерних пристроїв є критичною для машин, що вносять добрива та пестициди. Відсутність таких пристроїв може спричинити порушення в оптимальному перекритті суміжних проходів і призводити до змін



у нормах внесення та підвищенню нерівномірності розподілу.

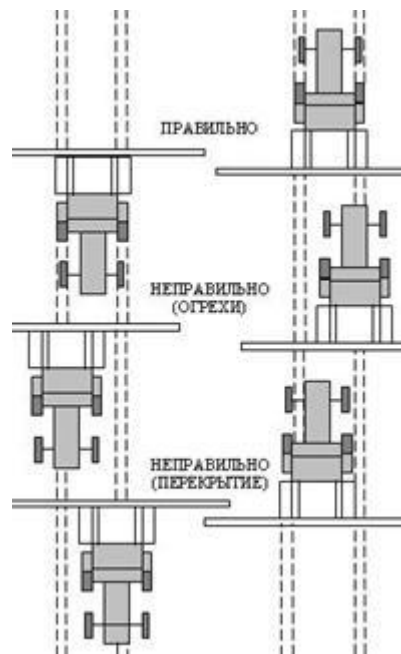


Рисунок 2.3 – Схеми перекриттів суміжних проходів

Дослідження показали, що навіть кваліфіковані та старанні оператори машин з великим захватом можуть допускати помилки у вигляді перекриття або пропусків на стиках проходів, які можуть варіюватися від 4 до 8 метрів, при відсутності маркерів слідів. Для вирішення цієї проблеми розроблено універсальний пінний маркер МПУ-1 [32, 33].

Також, аналіз використання підживлювача РШУ-12 у порівнянні з відцентровими розкидачами вказує на його вищу ефективність через більш рівномірне розподілення добрив, що забезпечує додатковий приріст урожайності зернових до 4,2 ц/га. Крім того, ця машина легша в налаштуванні доз внесення і її конструкція краще адаптована для розподілу матеріалів у вітряні умови. Розробка та удосконалення конструкції такої машини залишається у фокусі наукових досліджень.

## 2.2 Будова, принцип роботи та основні регулювання машини РШУ-12

Розподільник штанговий навісний мінеральних добрив РШУ-12 призначений для висіву твердих мінеральних добрив під сільськогосподарські культури, що вирощуються за інтенсивними технологіями [38].

Агрегатується з тракторами МТЗ-80, МТЗ-82.

Таблиця 2.2 – Основні технічні дані і характеристики

Тип	навісний
Марка	РШУ- 12
Агрегатується з трактором	МТЗ-80,МТЗ-82
Привід	від ВВП трактора
Робоча ширина захоплення, м	11,8
Нерівномірність розподілу добрив на робочій ширині захвату, %, не більш	15
Вантажопідйомність	0,55
Доза внесення, кг/га	65-450
Допустиме відхилення від встановленої дози, %	± 10
Продуктивність за 1 год:	
основного часу, га/год	7,0-12,0
експлуатаційного часу, га/год	5,0-7,0
Робоча швидкість, руху на основних операціях, км/год, не більше	10

Продовження табл. 2.2

Транспортна швидкість, км/год, не більш	25
Маса машини суха конструкційна, кг	600 ± 30
Максимальна висота завантаження від поверхні землі, м	1.8
Габаритні розміри, мм,	
у транспортному положенні:	
ширина	3130
довжина	6400
висота	1800
у робочому положенні:	
ширина	12800
довжина	1240
висота	1240
Кількість персоналу, що необхідний для обслуговування машини при виконанні технологічного процесу	1
Середня оперативна трудомісткість монтажу на місці перед використанням, люд.-год	4
Коефіцієнт надійності технологічного процесу	0,98
Коефіцієнт готовності по оперативному часу	0,96
Коефіцієнт використання експлуатаційного часу	0,65
Середньозмінна оперативна тривалість технічного обслуговування, год	0,3
Питома сумарна оперативна трудомісткість усунення наслідків відмов, люд.-год/год	0,018

Закінчення табл. 2.2

Питома оперативна трудомісткість планового поточного ремонту, люд.-год/год	0,08
Питома сумарна оперативна трудомісткість планового технічного обслуговування, люд.-год/год	0,03
Середня оперативна трудомісткість, люд.- год	
- переводу машини в транспортне положення	0,2
- переводу на іншу дозу висіву	0,1
Напрацювання до відмови, год	70
Термін служби, років	5
Ресурс, год	2250
Питома витрата палива, кг/га	2
Питома матеріалоемність, кг год/га	140
Коефіцієнт використання, %	10
Максимальна концентрація пилу на робочому місці тракториста, мг/м <sup>3</sup>	20
Максимальне зусилля опору переміщенню органів управління технологічним процесом, Н	200
Кут статичної стійкості поперечний, град	35

Будова та функціонування розподільника.

Розподільник (див. рисунки 1.7, 1.8, 1.9) сконструйований з кількох основних компонентів: рама (1), бункер (2), лівий і правий кронштейни (3), привідний механізм (4), ліві (5) та праві (6) розподільні штанги, дві тяги (7), чотири розтяжки (8), гідросистема (9), і транспортний кронштейн (10).

Процес роботи розподільника.

Технологічний процес роботи розподільника починається з завантаження добрив у бункер. Коли шибєрні заслінки відкриваються, добрива

переміщуються до завантажувальних горловин розгорнутих в робоче положення розподільних штанг. З активацією приводу, зірочки контрприводів змушують спіралі у штангах здійснювати поступальні рухи. Це дозволяє добривам просуватися через труби штанг, де вони транспортуються до виходів. Дозування добрив, що висіваються, регулюється за допомогою заслінок, які частково перекривають отвори на штангах.

Для зменшення ширини захоплення, кінцеві заслінки штанг деконектуються від основних і переміщуються в положення, що повністю перекриває вихідні отвори. Таке налаштування дозволяє точно контролювати внесення добрив, забезпечуючи ефективність і рівномірність їх розподілу по оброблюваній території.

В правій по ходу штанзі встановлена спіраль з правою навивкою, в лівій штанзі – спіраль з лівою навивкою.

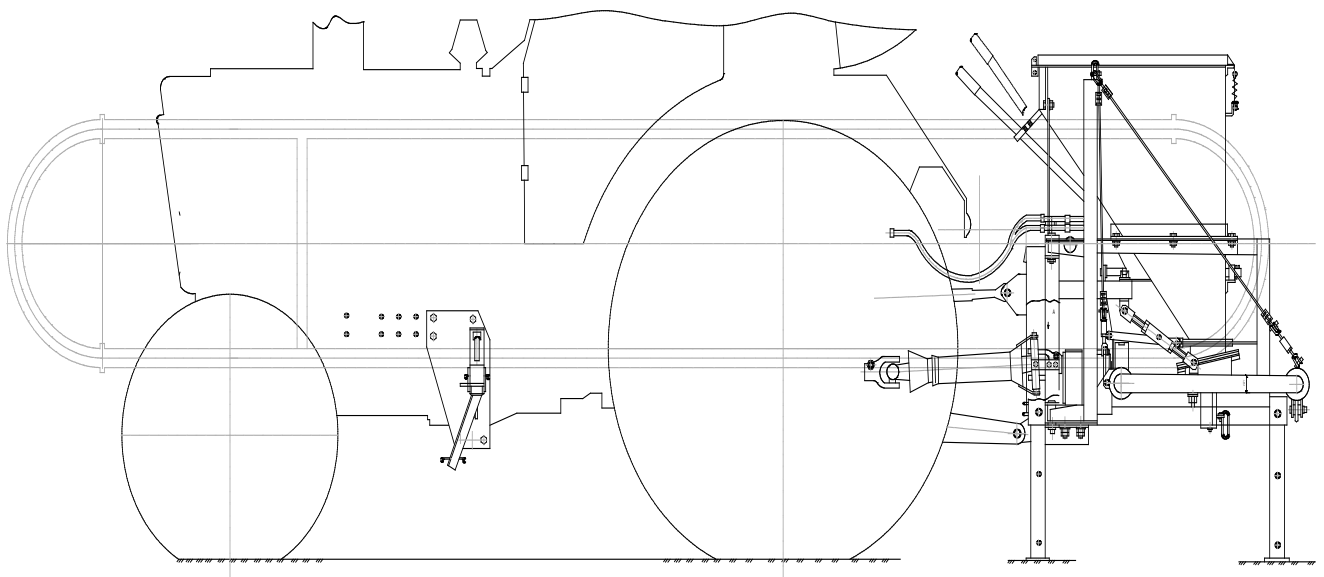


Рисунок 2.4 – Вигляд машини РШУ-12 збоку

Конструкція та функціональність компонентів розподільника.

Рама.

Рама (див. рис. 2.4) має зварну конструкцію та використовується для монтажу розподільника на гідронавіську трактора та кріплення розподільних

штанг. На рамі встановлено бункер і механізм приводу. Рама обладнана проушинами для монтажу кронштейнів, які утримують штанги і гідроциліндри для регулювання їх положення між робочим і транспортним станами. Додатково, на рамі розміщені три опорні стійки для стабілізації розподільника під час його зняття з трактора. У передній частині рами знаходиться замок з фіксатором для автоматичного зчеплення з трактором.

#### Бункер.

Бункер (див. рис. 2.4), монтований на рамі, призначений для зберігання та завантаження добрив. Він оснащений двома вивантажувальними отворами з регульованими заслінками, якими можна керувати з кабіни трактора за допомогою важелів. Під заслінками розташовані дві горловини, які можна переміщувати для точного прилягання до фланців на завантажувальних горловинах штанг. Бункер захищений відкидною сіткою для фільтрації крупних частинок та закритий тентом зверху. Рівень добрив у бункері можна визначити за допомогою рівнеміра, який має поворотну лопатку з винесеною рукояткою-стрілкою на передній стінці бункера.

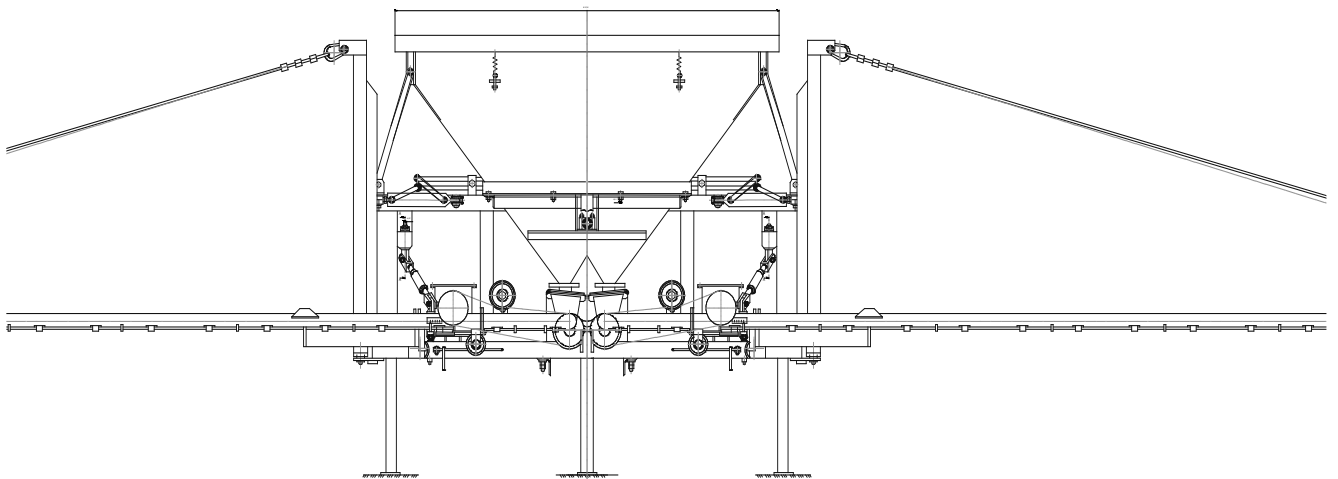


Рисунок 2.5 – Вигляд машини ззаду

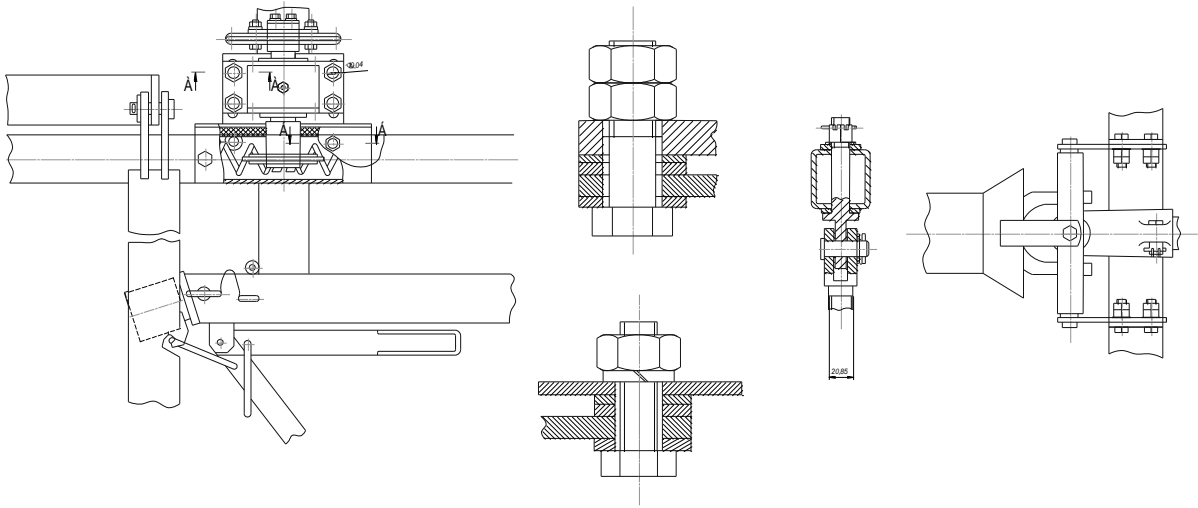


Рисунок 2.6 – Елементи конструкції машини

Кронштейн 3 (див. рис. 2.5) використовується для зміни положення розподільних штанг між транспортним та робочим станами. Він приєднаний до рами за допомогою двох шарнірів і має на своїй нижній частині додаткові шарніри для монтажу штанг.

Механізм приводу 4 (див. рис. 2.5) забезпечує рух спіральних пружин усередині штанг і складається з карданного вала, редуктора з двома зірочками та кривошипом, а також двох контрприводів зі зірочками з косим зубом для приводу пружин.

Розподільні штанги 5 (див. рис. 2.5) представляють собою труби довжиною 6480 мм і шириною 750 мм з закільцьованими кінцями. Штанги оснащені завантажувальними горловинами, висівними отворами з регульовальними заслінками на прутках, що переміщуються за допомогою повороту осі зірочки, та вивантажувальними люками. Спіральна пружина внутрішньої частини труби забезпечує транспортування матеріалу. На штанзі встановлена лінійка для контролю величини відкриття висівних отворів.

Тяга 7 (див. рис. 2.5) використовується для підняття штанг у вертикальне положення при переведенні їх у транспортне положення. Тяга має форму талрепа з двома шарнірами, один з яких закріплений на рамі, а другий — на штанзі.

Розтяжки 8 (див. рис. 2.5) – це сталеві канати з талрепами, призначені для утримання штанг у горизонтальному положенні під час роботи. У транспортному положенні використовується одна розтяжка, а у робочому – дві.

Гідросистема 9 (див. рис. 2.5) складається з двох гідроциліндрів моделі ГА.38.000 та інших комунікаційних елементів, використовується для зміни положення штанг між транспортним та робочим станами.

### **2.3 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи бакалавра**

Кожна реалізована інженерна робота має за мету внести конкретний вклад у покращення ефективності і продуктивності машини. Основним критерієм оцінки успішності таких вдосконалень є здатність чітко кількісно визначити зміни у показниках роботи машини, які слідує з імплементації нововведень.

В контексті даної роботи було здійснено дослідження специфіки функціонування бункера сільськогосподарської машини, яке виявило проблеми з нерівномірним завантаженням живильної вітки розпилюючої штанги. Детальний аналіз виявив, що основною причиною цього явища є утворення склепін з мінеральних добрив, що осипаються в процесі роботи. Склепіння затримує рівномірне просування добрив по транспортувальному механізмі, що призводить до перебоїв у їх подачі і, як наслідок, до зниження ефективності розподілу добрив на оброблюваних полях.

Пропонований метод вирішення цієї проблеми полягає у встановленні спеціалізованого струшувача в конструкцію бункера. Цей пристрій має бути спроектований таким чином, щоб ефективно усувати формування склепін шляхом активного механічного впливу на масу добрив. Руйнування склепін забезпечить більш рівномірне переміщення добрив усередині бункера, а тим самим покращить точність та рівномірність їх внесення в ґрунт.

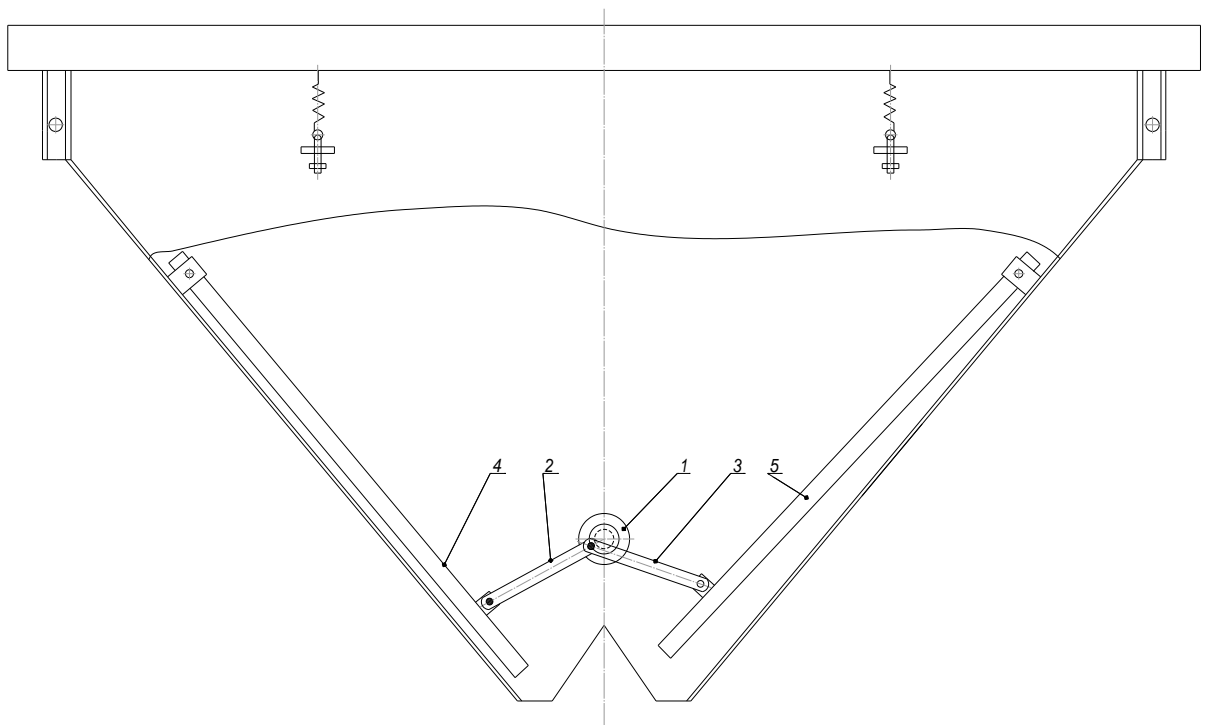
Тому тема кваліфікаційної роботи має назву « Удосконалення технології внесення мінеральних добрив з розробкою пристрою рівномірної подачі».



### 3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Визначення потужності, яка необхідна для приводу зворушувача бункера

Зворушувач бункера представляє собою здвоєний планчастий механізм, що шарнірно приєднаний до стінок бункера та має привід від кривошипно-шатунного механізму, рис. 3.1 [8, 9]



1 – кривошип; 2, 3 – шатун; 4 – планка перша; 5 – планка друга

Рисунок 3.1 – Схема приводу зворушувача

Механізм працює наступним чином. Від головного приводу крутний момент передається до кривошипа приводу зворушувача, який є зміщеним від основи вихідної горловини. Далі, через шатун механізму приводу і шарнірне з'єднання зусилля передається на планки, які шарнірно приєднані до днища бункера машини. Таким чином, кривошипно-шатунний механізм при обертанні колінчастого вала здійснює зворотно-поступальний рух шатуна, який рухає планки. В залежності від геометричних розмірів ланок механізму та

кінематичних параметрів приводу забезпечується режим роботи зворушувача, що позначається на якості оброблення стовпа добрив.

Розглянемо взаємозв'язки між ланками механізму [12-14].

Встановимо степені вільності даного механізму.

Структурний аналіз механізму включає в себе визначення степені вільності даного механізму та виділення груп Ассурі із визначенням приналежності даного механізму до певної групи.

Для визначення степеней вільності застосовуємо структурну формулу для плоских механізмів, яка має вигляд

$$W = 3n - 2P_5 - P_4, \quad (3.1)$$

де  $n$ -кількість рухомих ланок,  $n=5$ ;

$P_5$ - кількість кінематичних пар V-го класу,  $P_5=7$ ;

$P_4$ - кількість кінематичних пар IV-го класу,  $P_4=0$ ;

$$W = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 - 0 = 1.$$

Отже, такий механізм має одну степінь вільності.

Для визначення швидкостей і прискорень точок ланок скористаємося графоаналітичним методом. На першому етапі за відомою кількістю обертів кривошипа встановимо колова швидкість точки А кривошипа

$$V_A = l_{OA} \omega, \quad (3.2)$$

де  $l_{OA}$  - довжина ланки кривошипа,  $l_{OA}=0,0155$  м;

$\omega$  - кутова швидкість кривошипа

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{3.14 \cdot 90}{30} = 9.42 \text{ с}^{-1}, \quad (3.3)$$

де  $n$  - кількість обертів кривошипа на хвилину,  $n=90$  об/хв.

Тоді колова швидкість т. А кривошипа

$$V_A = l_{OA} \omega = 0.0155 \cdot 9.42 = 0.146 \text{ м/с.} \quad (3.4)$$

Щоб знайти швидкості всіх точок механізму, необхідно записати векторні рівняння, що зв'язують всі ланки механізму:

- для першої планки

$$\begin{cases} \overline{V_{B1}} = \overline{V_A} + \overline{V_{B1A}}; \\ \overline{V_{B1}} = \overline{V_C} + \overline{V_{B1C}}; \end{cases} \quad (3.5)$$

- для другої планки

$$\begin{cases} \overline{V_{B2}} = \overline{V_A} + \overline{V_{B2A}}; \\ \overline{V_{B2}} = \overline{V_D} + \overline{V_{B2D}}. \end{cases} \quad (3.6)$$

Приймаємо масштаби побудови

$$\mu_V = \frac{V_A}{P_A} = \frac{0.146}{146} = 0.001 \text{ м/(ммс)}. \quad (3.7)$$

Розв'язуємо першу систему. Відкладаємо у масштабі величини відповідних швидкостей згідно їх напрямків за методикою [12], рис. 3.3.

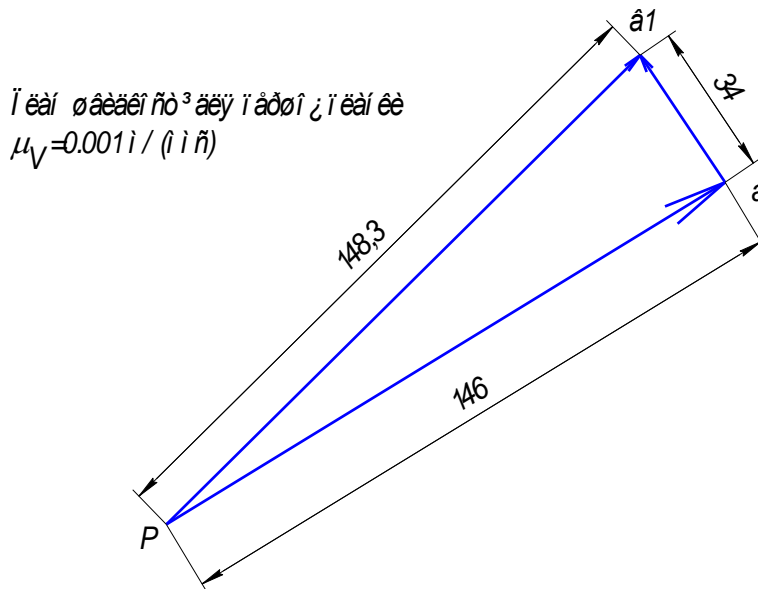


Рисунок 3.2 – План швидкості для першої планки

Отже, шукана швидкість т.  $B_1$  становить  $V_{B1} = 0.148$  м/с.

Аналогічні дослідження проводимо для ланок планки 2, рис. 3.4.

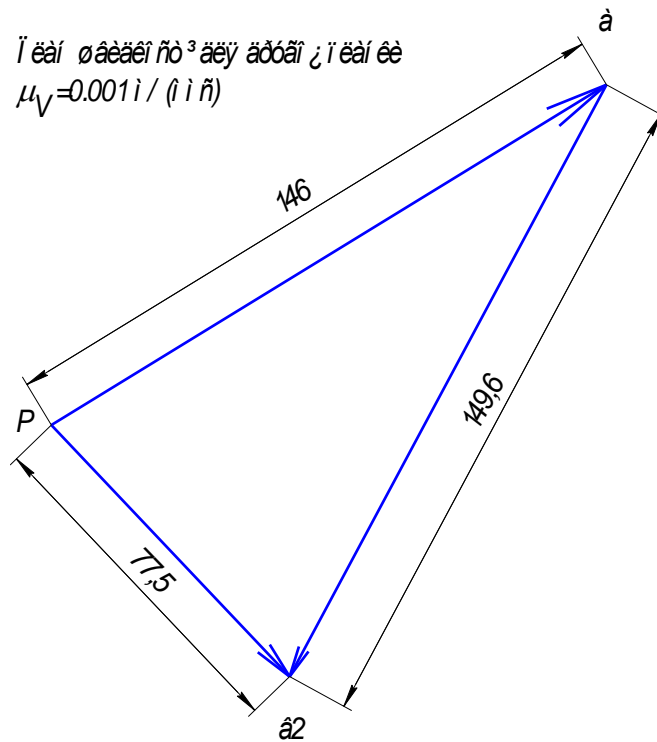


Рисунок 3.3 – План швидкості для другої планки

Шукана швидкість становить  $V_{B2} = 0.078$  м/с.

Наступним етапом є визначення прискорень точок ланок. Складаємо векторні системи рівнянь

- для першої планки

$$\begin{cases} \overline{a_{B1}} = \overline{a_A} + \overline{a_{B1A}^n} + \overline{a_{B1A}^\tau}; \\ \overline{a_{B1}} = \overline{a_C} + \overline{a_{B1C}^n} + \overline{a_{B1C}^\tau}. \end{cases} \quad (3.8)$$

Тут маємо:

$$a_A = \omega^2 l_{OA} = 9.42^2 \cdot 0.12 = 10.5 \text{ м/с}^2. \quad (3.9)$$

Прийmemo масштаб побудови

$$\mu_a = \frac{a_A}{P_A} = \frac{10.5}{105} = 0.1 \text{ м/(ммс}^2\text{)}. \quad (3.10)$$

$$a_{B1A}^n = \frac{V_{B1A}^2}{l_{B1A}} = \frac{0.034^2}{0.12} = 0.0096 \text{ м/с}^2, \quad (3.11)$$

де  $V_{B1A}$  - колова швидкість точки  $B_1$  відносно т. А,  $V_{B1A} = 0,034$  м/с ;

$l_{B1A}$  - довжина ланки  $B_1A$ ,  $l_{B1A} = 0,12$  м.

$$a_{B1C}^n = \frac{V_{B1C}^2}{l_{B1C}} = \frac{0.148^2}{0.46} = 0.048 \text{ м/(ммс}^2\text{)}, \quad (3.12)$$

де  $V_{B1C}$  - колова швидкість точки  $B_1$  відносно т. С,  $V_{B1C} = 0,148$  м/с;

$l_{B1C}$  - довжина ланки  $B_1C$ ,  $l_{B1C} = 0,460$  м .

Будуємо план прискорень, рис. 3.5.

І еаі і òèñèі òáí íŷ äëŷ í äòøî ç í еаі èè  
 $\mu_{\dot{a}} = 0.11 / (\text{í ñ}^2)$

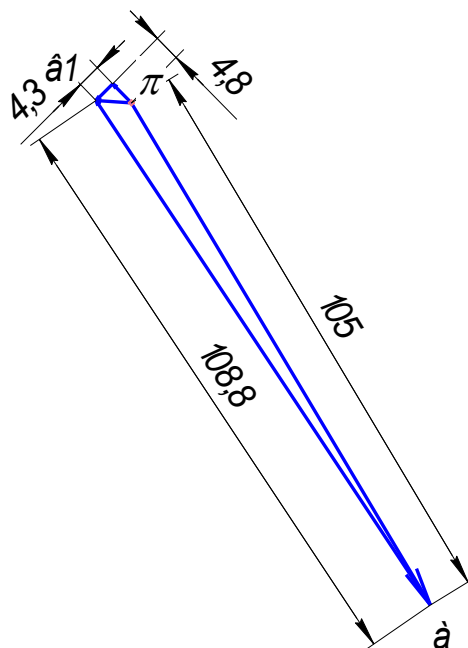


Рисунок 3.4 – План прискорення для першої планки

Прискорення т. В<sub>1</sub>  $a_{B_1} = 0.43 \text{ м/с}^2$ .

- для другої планки

$$\begin{cases} \overline{a_{B_2}} = \overline{a_A} + \overline{a_{B_2A}^n} + \overline{a_{B_2A}^\tau}; \\ \overline{a_{B_2}} = \overline{a_D} + \overline{a_{B_2C}^n} + \overline{a_{B_2C}^\tau}. \end{cases} \quad (3.13)$$

де

$$a_{B_2A}^n = \frac{V_{B_2A}^2}{l_{B_2A}} = \frac{0.15^2}{0.46} = 0.05 \text{ м/с}^2, \quad (3.14)$$

де  $V_{B_2A}$  - колова швидкість точки В<sub>1</sub> відносно т. А,  $V_{B_2A} = 0,15 \text{ м/с}$ ;

$l_{B_2A}$  - довжина ланки В<sub>1</sub>А,  $l_{B_2A} = 0,12 \text{ м}$ .

$$a_{B_2D}^n = \frac{V_{B_2D}^2}{l_{B_2D}} = \frac{0.078^2}{0.46} = 0.013 \text{ м/с}^2. \quad (3.15)$$

де  $V_{B_2D}$  - колова швидкість точки  $B_2$  відносно т. D ,  $V_{B_2D} = 0,078$  м/с;

$l_{B_2D}$  - довжина ланки  $B_2D$ ,  $l_{B_2D} = 0,46$  м.

Будуємо план прискорень, рис. 3.6.

Шукане прискорення  $a_{B_2} = 9.52$  м/с<sup>2</sup>.

Встановимо кутові швидкості аналогічних точок ланок

- для першої планки

$$\omega_{21} = \frac{V_{B_1A}}{l_{B_1A}} = \frac{0.034}{0.12} = 0.283 \text{ с}^{-1}; \quad (3.16)$$

$$\omega_{31} = \frac{V_{B_1C}}{l_{B_1C}} = \frac{0.148}{0.46} = 0.322 \text{ с}^{-1}; \quad (3.17)$$

$\mu_a = 0.1 \text{ с}^2 / (\text{м} \cdot \text{с}^2)$

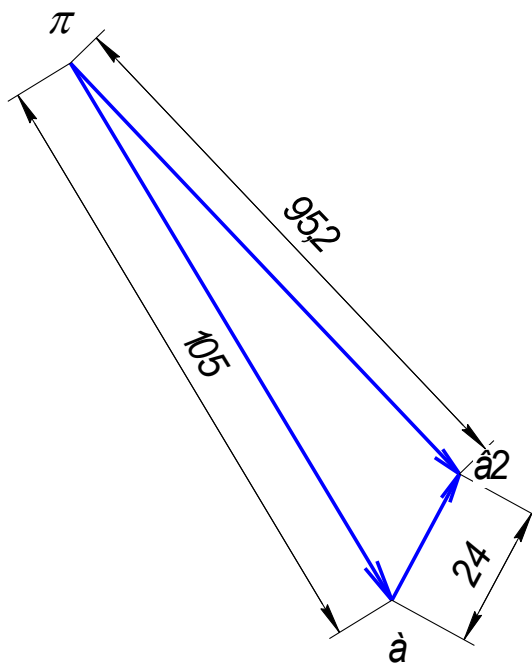


Рисунок 3.5 – План прискорення для другої планки

- для другої планки

$$\omega_{22} = \frac{V_{B2A}}{l_{B2A}} = \frac{0.15}{0.12} = 1.25 \text{ c}^{-1};$$

$$\omega_{32} = \frac{V_{B2D}}{l_{B2D}} = \frac{0.078}{0.46} = 0.17 \text{ c}^{-1}.$$

Для визначення інерційних сил необхідно знати кутові прискорень точок ланок механізму. Встановимо їх для розглядуваних точок.

- для першої планки

$$\varepsilon_{21} = \frac{a^{\tau}_{B1A}}{l_{B1A}} = \frac{10.9}{0.12} = 90.8 \text{ c}^{-2}; \quad (3.18)$$

$$\varepsilon_{31} = \frac{a^{\tau}_{B1C}}{l_{B1C}} = \frac{0.43}{0.46} = 0.93 \text{ c}^{-2}. \quad (3.19)$$

- для другої планки

$$\varepsilon_{22} = \frac{a^{\tau}_{B2A}}{l_{B2A}} = \frac{2.4}{0.12} = 20 \text{ c}^{-2};$$

$$\varepsilon_{32} = \frac{a^{\tau}_{B2D}}{l_{B2D}} = \frac{9.52}{0.46} = 20.7 \text{ c}^{-3}.$$

Завершальним етапом дослідження є визначення колової сили, що прикладена в точці А кривошипа. Вона визначатиме момент на валові кривошипа, який необхідно прикласти до нього для приводу зворушувача.

Для цього потрібно провести силовий розрахунок даного механізму. Робимо припущення, що вага ланок механізму є порівняно малою з основною масою добрив, тому вважаємо що маса добрив зосереджена посередині планки.

Момент інерції такої планки становитиме [24, 26]



$$I = \frac{ml_{B1C}^2}{12}, \quad (3.20)$$

де  $m$  - приведена маса добрив.

Виведемо залежність для визначення колової сили.

Для забезпечення нормальної роботи механізму припускаємо, що сили опору дорив напрямлені одночасно на площину планок, хоча насправді тут діють сили поперемінно. Даний варіант є більш критичним і він веде до забезпечення запасу потужності.

Розглядаючи схему планок зворушувача, рис. 3.6, встановлюємо контактну площу планок з добривами.

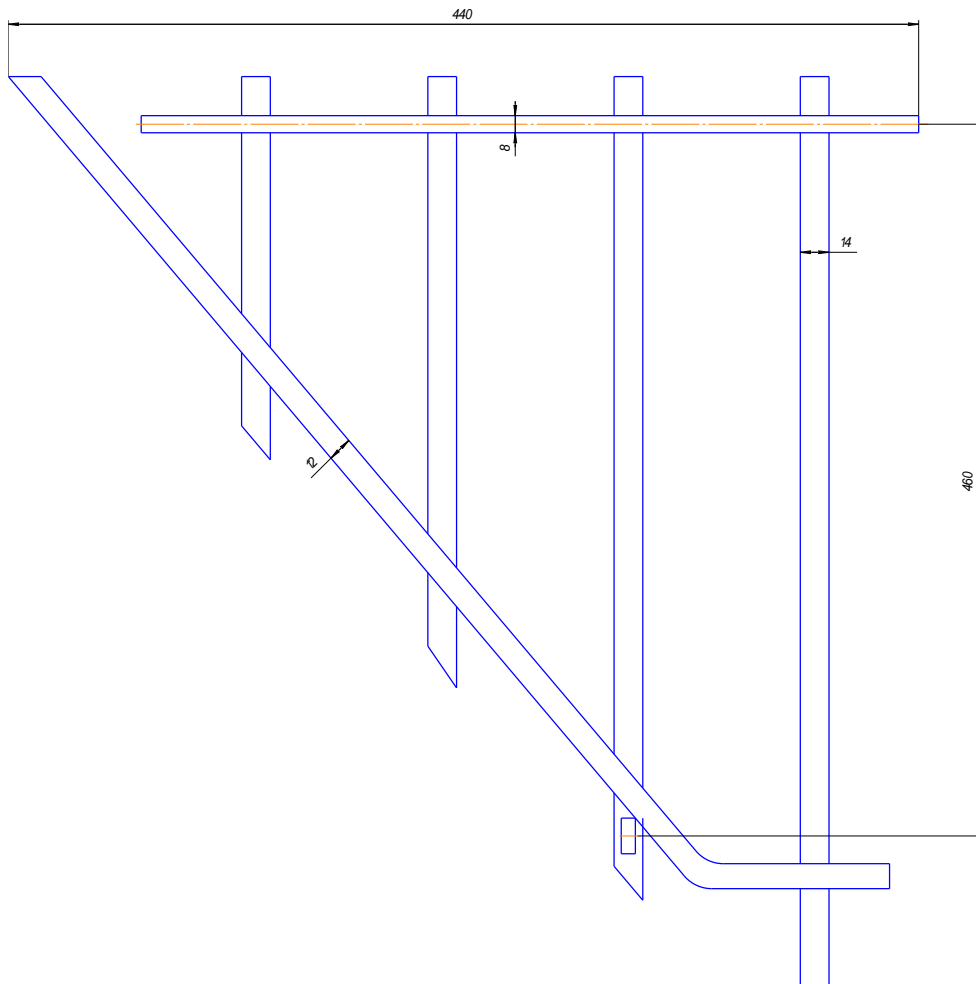


Рисунок 3.6– Секція планок права зворушувача

Після елементарного підрахунку встановлено, що одна секція контактує з добривами площею  $0,02 \text{ м}^2$ . За усередненою висотою стовпа добрив визначаємо корисне навантаження на планки (секцію), воно становить приблизно  $85 \text{ Н}$ , враховуючи ще вплив внутрішнього тертя між частинками добрив, остаточно приймаємо дане навантаження  $100 \text{ Н}$ . Отже, момент інерції планки становитиме

$$I = \frac{10 \cdot 0.46^2}{12} = 0.176 \text{ кгм}^2,$$

момент сили інерції при цьому буде становити

$$M = -I\varepsilon_{32} = -0.176 \cdot 20.7 = -3.65 \text{ Нм.} \quad (3.21)$$

Сила інерції становить

$$P_i = a_s m = -9.52 \cdot 10 = -95.2 \text{ Н.} \quad (3.22)$$

Зведемо силу інерції і момент сили інерції до сили інерції

$$h_i = \frac{M}{P_i} = \frac{3.65}{95.2} = 0.038 \text{ м.} \quad (3.23)$$

Визначимо дотичну реакцію в шарнірі планки, склавши рівняння моментів відносно т. С.

$$-mg \cdot 0.165 - P_i \cdot 0.271 + R^t \cdot 0.46 = 0, \quad (3.24)$$

Звідки

$$R^{\tau} = \frac{100 \cdot 0.165 + 95.2 \cdot 0.271}{0.46} = 92 \text{ Н.}$$

Тоді із плану сил  $R^n = 70.7 \text{ Н}$ . Загальна реакція в шарнірі

$$R = \sqrt{R^{\tau 2} + R^{n 2}} = \sqrt{92^2 + 70.7^2} = 116 \text{ Н.} \quad (3.25)$$

Розглядаючи найбільш критичний варіант навантаження на вал зворушувача, його кривошипіві необхідно подолати опір  $R=P=116 \text{ Н}$ .

Розглянемо розрахункову схему кривошипа, рис. 3.7 [28].

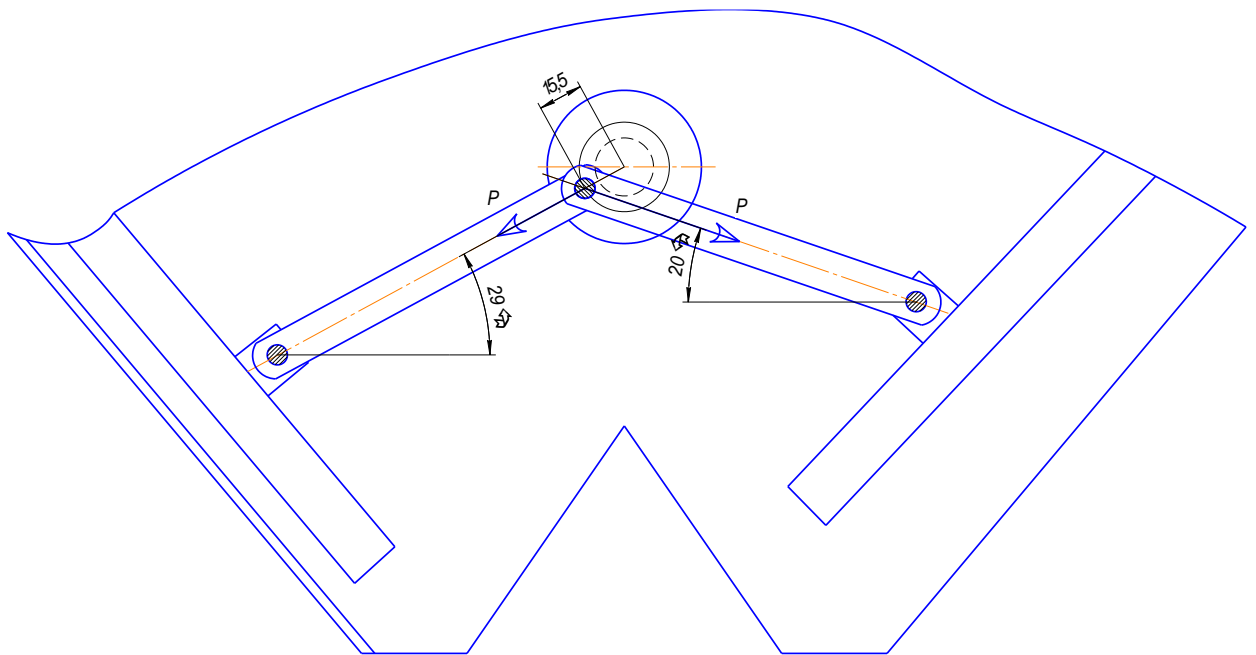


Рисунок 3.7 – Розрахункова схема кривошипа

Для визначення моменту, що є на валові приводу кривошипа, спроектуємо діючі сили на перпендикулярну пряму до радіуса кривошипа в проміжному положенні, коли момент буде найбільшим.

Перша складова

$$P' = P \cos 30^\circ = 116 \cdot \cos 30^\circ = 100.5 \text{ Н.}$$

Друга складова

$$P'' = P \cos 90^\circ = 116 \cdot \cos 0^\circ = 116 \text{ Н.}$$

Сумарна дотична сила, становитиме

$$P_z = P' + P'' = 100.5 + 116 = 216.5 \text{ Н.} \quad (3.26)$$

Момент на валові при цьому становитиме

$$M = P_z \cdot r = 216.5 \cdot 0.0155 = 3.36 \text{ Нм.} \quad (3.27)$$

Споживана потужність приводом зворушувача

$$\Pi = M\omega = 3.36 \cdot 9.42 = 31.7 \text{ Вт.} \quad (3.28)$$

Отже, привід зворушувача бункера машини РШУ-12 споживатиме лише 31.7 Вт. Це справедливо, оскільки радіус кривошипа малий і амплітуда коливань планки невелика.

### 3.2 Розрахунок планки-шатуна приводу зворушувача

Визначимо напруження, що виникають в планці-шатуні приводу зворушувача. Конструктивно прийнятий перетин планки 14x6 мм.

Напруження розтягу становить [28, 36]

$$\sigma = \frac{P_z}{A} \leq [\sigma], \quad (3.29)$$

де  $[\sigma]=160$  МПа;

$A$  – площа поперечного перетину планки-шатуна,

$$A = 0.014 \cdot 0.006 = 0.84 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Тоді напруження

$$\sigma = \frac{216.5}{0.84 \cdot 10^{-4}} = 2.6 \text{ МПа} \ll [\sigma].$$

Таке мале значення напруження розтягу свідчить про великий запас міцності планки-шатуна, тому проводити розрахунок на стійкість немає необхідності.

Проведемо перевірку міцності з'єднувального пальця планки-шатуна з секцією зворушувача

$$\tau = \frac{P_z}{2A_p}, \quad (3.30)$$

де  $n$  – кількість площин зрізу,  $n = 2$ ;

$A_p$  – площа поперечного перетину пальця

$$A_p = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 0.006^2}{4} = 2.83 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2.$$

Тоді напруження зрізу в пальці становитимуть

$$\tau = \frac{216.5}{2 \cdot 2.83 \cdot 10^{-5}} = 3.8 \text{ МПа.}$$

З'єднувальний палець має достатню міцність.

### 3.3 Розрахунок привідного вала зворушувала

Визначимо необхідний поперечний перетин привідного вала. Даний вал передає крутний момент  $M = 3.36 \text{ Нм}$ .

Для такого розрахунку можна рекомендувати наступний порядок розрахунку елементів конструкції на міцність і жорсткість при крученні.

За схемою валу і діючими на нього крутними моментами, будують епюру крутних моментів по окремих ділянках. Підбирають матеріал для елемента, що розраховується, і визначають для цього матеріалу допустимі напруження. Записують умову міцності для ділянки валу з максимальним значенням крутного моменту (згідно епюри моментів).

Якщо елемент достатньо довгий і по окремих його ділянках діють істотно різні по величині крутні моменти, то слід конструювати ступінчастим або змінної жорсткості.

Визначивши розміри елемента з умови міцності, перевіряють його на жорсткість. Відносний допустимий кут закручування валу приймають наступним: при статичному навантаженні -  $0,3^\circ$  на кожен метр довжини валу; при змінних навантаженнях -  $0,25^\circ$ , а при ударних навантаженнях =  $0,15^\circ$  [37]. Враховуючи, що формула виражає кут закручування в радіанах, приведені значення допустимих кутів потрібно перевести в радіани, помноживши їх на  $\pi/180$ . Якщо при перевірці виявиться, що умова жорсткості задовольняється, то

на цьому звичайно і закінчують розрахунок. Інакше розміри елемента потрібно підібрати з умови жорсткості.

Іноді при розрахунку відома передавана їм потужність, задана в кіловатах, і частота обертання  $n$  в обертах на хвилину. В цьому випадку крутні моменти в розрахункових формулах можна виразити безпосередньо через потужність і частоту обертання  $n$ .

За заниженими дотичними напруженнями визначимо діаметр вала

$$d_B = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M}{\pi[\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 3.36 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 20}} = 0.0095 \text{ м.} \quad (3.31)$$

За умовою міцності при крученні такий крутний момент передаватиме вал діаметром 10 мм.

Тут, напевно, міцність при крученні не буде визначальною, є необхідність проведення розрахунку на жорсткість як при крученні так і при згині.

Запишемо умову жорсткості даного вала, вважаючи, що він є однакового опору і має довжину  $l = 238$  мм, що передає крутний момент  $M = 3.36$  Нм [37]

$$\Theta = \frac{M}{GI_p} \leq [\Theta], \quad (3.32)$$

де  $G$  - модуль Юнга другого роду,  $G = 8.1 \cdot 10^4$  МПа;

$[\Theta]$  - допустимий відносний кут закручування, який із кутом закручування знаходиться у співвідношенні

$$\varphi = \Theta l, \quad (3.33)$$

$I_p$  - полярний момент інерції перетину,

$$I_p = \frac{\pi d_B^4}{64} = \frac{3.14 \cdot 0.010^4}{64} = 4.9 \cdot 10^{-10} \text{ м}^4. \quad (3.34)$$

Тоді відносний кут закручування

$$\Theta = \frac{3.36}{8.1 \cdot 10^{10} \cdot 4.9 \cdot 10^{-9}} = 8.47 \cdot 10^{-3} \text{ рад.}$$

Кут закручування

$$\varphi = 8.47 \cdot 10^{-3} \cdot 0.238 = 0.002 \text{ рад}$$

$$\text{або } \varphi = \frac{0.002 \cdot 180}{3.14} = 0.115^\circ.$$

Порівняємо це із допустимими, що наведені вище для погонного метра.

Кут закручування

$$\varphi = 8.47 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 8.47 \cdot 10^{-3} \text{ рад}$$

$$\text{або } \varphi = \frac{8.47 \cdot 10^{-3} \cdot 180}{3.14} = 0.486^\circ,$$

це значення є значно більшим від допустимого  $0,3^\circ$ .

Значить умова жорсткості при крученні не виконується. Для її виконання необхідно вибрати вал, який би мав більшу жорсткість. Такі вали можуть бути пустотілими, але більшого зовнішнього діаметру.

Прийmemo вал із зовнішнім діаметром 20 мм під підшипник легкої серії 104.

$$\text{Тоді } I_p = \frac{\pi d_B^4}{64} = \frac{3.14 \cdot 0.02^4}{64} = 7.85 \cdot 10^{-9},$$

$$\Theta = \frac{3.36}{8.1 \cdot 10^{10} \cdot 7.85 \cdot 10^{-9}} = 0.005 \text{ рад,}$$



$$\varphi = 0.005 \cdot 1 = 0.005 \text{ рад/м або } \varphi = \frac{0.005 \cdot 180}{3.14} = 0.28^\circ \text{ град/м.}$$

Умова жорсткості при крученні виконують, приймаємо суцільний вал діаметром 20 мм.

### **3.4 Зведені результати розрахунку пасової передачі приводу зворушувача**

**Приводу вала зворушувача використано пасову передачу, розрахунок якої виконано за типовою методикою [37]**

За результатами розрахунку і з метою уніфікації клинопасової передачі рекомендуємо застосовувати для приводу зворушувача пас профілю Б довжиною 1,8 м.

Міжцентрова відстань рівна 0,222 м.

Зусилля, необхідне для натягнення паса, дорівнює 3.89 Н для приробленого паса і 3.97 Н для нового паса.

За розрахунком шпонкового з'єднання маточини привідної зірочки з валом зворушувача, отримано:

Матеріал шпонок – сталь 45 нормалізована.

Відповідно до діаметра вала у місцях посадки шківів, підберемо розміри шпонки:  $d_B = 20$  мм;  $b = 6$  мм;  $h = 6$  мм;  $t_1 = 3,5$  мм;  $l = 25$  мм.

Напруження зминання

$$\sigma = 7.1 \text{ МПа} < [\sigma_{3M}],$$

де  $[\sigma_{3M}] = 100 \text{ МПа}$

Умова міцності виконується, з'єднання матиме достатню міцність.

## **4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ**

### **4.1 Можливі небезпеки та вимоги безпеки під час внесення мінеральних добрив**

Внесення мінеральних добрив є необхідною частиною сучасного землеробства, яка забезпечує необхідні поживні речовини для росту та розвитку рослин. Однак цей процес також може призвести до ряду небезпек та вимагає суворого дотримання визначених заходів безпеки.

Основна небезпека від внесення мінеральних добрив полягає в тому, що багато з цих добрив містять хімічні речовини, які можуть бути шкідливими як для людей, так і для довкілля. Наприклад, азотні добрива можуть викликати подразнення шкіри, очей та дихальних шляхів при безпосередньому контакті. Довготривале вдихання пилу від добрив може викликати серйозні респіраторні проблеми. Також існує ризик отруєння у випадку випадкового проковтування продукту, особливо серед дітей, що живуть у сільській місцевості [29, 31].

Для мінімізації цих ризиків, особи, які працюють з мінеральними добривами, повинні використовувати особисті засоби захисту, включаючи рукавички, захисні окуляри, респіратори та захисний одяг. Це особливо важливо в умовах великих сільськогосподарських операцій, де кількість використуваних хімікатів значно вища.

Ще однією проблемою є вплив мінеральних добрив на довкілля. Надмірне або неправильне використання добрив може призвести до забруднення ґрунтів і водойм, що спричиняє зменшення біорізноманіття та загострення проблеми евтрофікації у водоймах. Евтрофікація може призвести до масового розвитку водоростей, що в свою чергу знижує рівень кисню в воді, вбиваючи рибу та інші водні організми.

Тому, агрономам і фермерам необхідно дотримуватися інструкцій з дозування та методів застосування добрив, розроблених з урахуванням місцевих умов та типів культур. Вони також мають зобов'язання проводити

регулярні перевірки рівнів поживних речовин у ґрунті, щоб уникнути їх надлишку.

Крім того, сучасні технології та методи, такі як точне землеробство, можуть допомогти більш точно визначати необхідність і кількість добрив, що вносяться. Це дозволяє зменшити вплив на довкілля та підвищити ефективність використання ресурсів.

Враховуючи всі ці аспекти, важливо, щоб фермери та аграрії не тільки дотримувалися існуючих норм і рекомендацій, але й постійно освічувалися у сфері найкращих практик і новітніх технологій у сфері агрокультури. Такий підхід допоможе не тільки забезпечити високий урожай, але й захистити здоров'я людей і берегти довкілля.

#### **4.2 Техніка безпеки під час роботи на машинах для внесення добрив**

До роботи на машинах допускаються особи, які досягли 18 років, мають посвідчення на право керування машинами і пройшли інструктаж з техніки безпеки.

Дозволяється працювати тільки на технічно справних машинах. У разі виявлення несправностей, які можуть призвести до аварій або нещасних випадків, машини негайно зупиняють. Усі причепи і напівпричепи обладнують гальмом і гальмівним сигналом. Карданні, ланцюгові, зубчасті, пасові передачі та інші небезпечні зони обгороджують захисними пристроями.

Технічне обслуговування, регулювання і ремонт машин і механізмів слід проводити тільки при заглушених двигунах. Не можна ремонтувати підняту платформу або кузов без установлення запобіжного стояка. Під час комплектування тракторів з причепами та навісними машинами і тягачів з цистернами та напівпричепами біля агрегатів має бути працівник для погодження дій тракториста і водія.

Перед увімкненням вала відбору потужності або перед початком руху агрегату потрібно переконатися в тому, що в небезпечній зоні немає людей. Не допускається присутність на машинах і агрегатах сторонніх осіб. Забороняється на ходу сідати на машини і сходити з них.

Під час роботи агрегатів на транспортних швидкостях слід виконувати правила дорожнього руху і для підвищення стійкості встановлювати колеса трактора на максимальну ширину. Не допускається перевозити людей у кузові автомобіля, самоскида, на причепах і напівпричепах.

Люди, які мають працювати з добривами, проходять медичний огляд та інструктаж про токсичну дію хімікатів, методи безпечної роботи з ними. Крім цього, їх ознайомлюють з правилами надання першої долікарської допомоги під час ушкодження шкіри, дихальних та інших органів. Особи, які систематично працюють з добривами, проходять медичний огляд не рідше ніж один раз на 6 місяців. Працівники забезпечуються спецодягом та індивідуальними засобами захисту (окулярами, респіраторами тощо).

Під час роботи не можна курити. Перед прийманням їжі слід вимити руки і сполоснути водою порожнину рота. Після закінчення роботи з добривами працівник повинен зняти спецодяг, добре очистити його від пилу і залишити в шафі, яка знаходиться в окремому приміщенні.

Не дозволяється працювати безперервно впродовж двох змін одним і тим самим трактористам і водіям. Усі види ручних і механізованих робіт з добривами мають проводитися під керівництвом відповідальної особи (бригадира, агронома). Слід суворо дотримуватися прийнятої технології робіт.

Перед експлуатацією агрегату механізатор зобов'язаний уважно ознайомитися з інструкцією щодо будови, складання, догляду і експлуатації його.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи встановлено наступне:  
виявлено, що під час роботи машини РШУ спостерігається нерівномірне завантаження живильної вітки розпилюючої штанги;

причиною нерівномірної подачі є утворення склепіння при осипанні мінеральних добрив. Для вирішення даного питання було запропоновано встановити струшувач, який би активно руйнував склепіння і виключав можливість нерівномірної подачі добрив.

При виконанні розрахункового розділу роботи одержано такі результати:  
привід зворушувача бункера машини РШУ-12 споживатиме 31.7 Вт. Це справедливо, оскільки радіус кривошипа малий і амплітуда коливань планки невелика;

за визначеними напруженнями, що виникають в планці-шатуні приводу зворушувача, прийнятий перетин планки 14x6 мм;

встановлено, що з'єднувальний палець має достатню міцність, а його діаметр повинен становити 6 мм;

за умовою жорсткості при крученні, прийнято суцільний вал діаметром 20 мм для приводу зворушувача;

за результатами розрахунку і з метою уніфікації клинопасової передачі агрегату рекомендовано застосовувати для приводу зворушувача пас профілю Б довжиною 1,8 м. Міжцентрова відстань рівна 0,222 м. Зусилля, необхідне для натягнення паса, дорівнює 3.89 Н для приробленого паса і 3.97 Н для нового паса;

за умовою міцності при зминанні для з'єднання шківа приводу зворушувача з валом прийнято призматичну шпонку розміром 6x6x25 мм.

У роботі розглянуто також питання «Безпеки життєдіяльності, основи охорони праці»: можливі небезпеки та вимоги безпеки під час внесення мінеральних добрив; техніка безпеки під час роботи на машинах для внесення добрив.

**ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Andreykiv O., Babii A., Dolinska I., Yadzhak N., Babii M. Residual lifetime prediction of field sprayer booms under the action of manoeuvre loading and corrosive environment. *Procedia Structural Integrity*. Volume 36, 2022, Pages 36-42.
2. Andrii Babii, Taras Dovbush, Nadiia Khomuk, Anatolii Dovbush, Anna Tson, Vasyl Oleksyuk, 2022. Mathematical model of a loaded supporting frame of a solid fertilizers distributor. *Procedia Structural Integrity* No 36. 203-210.
3. Andrii Babii, Bohdan Levytskyi, Taras Dovbush, Mariia Babii, Nadiia Khomuk, Anatolii Dovbush, Volodymyr Valiashek. Mathematical model of sprayer tank loading. *Procedia Structural Integrity*. Volume 59, 2024, Pages 609-616.
4. Babii A., Babii M. Taking impact of oscillation amplitude of boom sprayers load-bearing frame sections. *Scientific Journal of TNTU*. Tern. : TNTU, 2019. Vol. 95, No 3, P. 97–104.
5. Babii A.; Aulin V.; Babii M.; Levytskyi B. (2022) Investigation of the working capacity of the operating body suspension functional-transporting machine. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 105, no 1, pp. 5–12.
6. Syrotyuk A.M., Babii A.V., Barna R.A., Leshchak R.L., Marushchak P.O. Corrosion-Fatigue Crack-Growth Resistance of Steel of the Frame of a Sprayer Boom. *Materials Science*, 2021, 56(4), P. 466–471.
7. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Лівіцький О.М., Бабій А.В. Закономірності впливу високомодульних наповнювачів на розподіл полів напружень в поверхневих шарах деталей машин, виготовлених з полімерних композитних матеріалів. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2022. Вип. 5(36)\_І. С. 55-70.
8. Бабий, А. Математическая модель нагрузки привода режущего аппарата косилки [Текст] / А. Бабий, М. Бабий, Т. Рыбак // *Motrol*, 2014. – Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin. Vol. 16, No 4. – С.275–284.

9. Бабій А. В., Бабій М. В. Дослідження впливу конструкторсько-технологічних факторів на запас міцності спинки ножа косарки. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства, Вип. 139 «Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва». 2013. С. 187-192.

10. Бабій А.В. Аналіз параметрів штангового обприскувача з метою збільшення його продуктивності. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine, 2019. Vol. 10. No. 4. С. 51–55.

11. Бабій А.В. Дослідження впливу горизонтальних коливань штанги на рівномірність обприскування. Матеріали Всеукраїнської наукової конференції молодих учених і науково-педагогічних працівників, 16 червня 2020 р. Редкол. : Непочатенко О.О. (відп. ред.) та ін. Умань : ВПЦ «Візаві», 2020. С. 121–123.

12. Бабій А.В. Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з дисципліни «Сільськогосподарські машини: конструкції та розрахунок» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Бакалавр». Машини для заготівлі кормів. Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. 2022. 76 с.

13. Бабій А.В., Бабій М.В. Динамічна модель енергозберігаючого приводного механізму косарки. Вісник ХНТУСГ. Випуск 145. “Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва”. Харків, 2014. С.112–118.\

14. Бабій А.В., Бабій М.В. Дослідження впливу конструкторсько-технологічних факторів на запас міцності спинки ножа косарки. Вісник ХНТУСГ. Випуск 139. “Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва”. Харків, 2013. С.187–192.

15. Бабій А.В., Бабій М.В. Організація і технологія механізованих робіт: навчальний посібник до курсового проєктування для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Бакалавр». Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. 2023. 144 с.

16. Бабій А.В., Бабій М.В., Вічко О.І. Пристрій для визначення кількості та рівномірності розпилення продукту робочим органом штангового обприскувача. Деклараційний патент на корисну модель 141105 B05B 3/00, B05B 12/00, G01F 3/36 (2006.01); заявл. 16.07.2019, u201908385, опубл. 25.03.2020, бюл. № 6/2020.

17. Бабій А.В., Бортник І.М., Сташків М.Я., Олексюк В.П. Штанга обприскувача. Деклараційний патент на корисну модель 137527 A01M11/00, A01M7/00; заявл. 15.04.2019, u201903846; опубл. 25.10.2019, бюл. № 20.

18. Бабій А.В., Брощак І.С., Мартинюк В.В. Пристрій для прикореневого підживлення вегетуючих рослин. Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». Кропивницький: ЦНТУ. 2023. С.68-69.

19. Бабій А.В., Головецький І.В., Гладько Ю.Б. Дослідження кінематичних параметрів вібраційного лемеша картоплекопача з використанням комп'ютерної програми. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. "Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин", ЦНТУ. 2023. С.227-236.

20. Бабій А.В., Дзюра В.О., Головецький І.В. Дослідження впливу вертикальних коливань штанги обприскувача на рівномірність обприскування. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2022. Вип. 5(36)\_І. С. 216-226.

21. Бабій А.В., Довбуш Т.А., Бабій М.В., Ткаченко О.І., Сташків М.Я. Динаміка машин. Навчальний посібник для студентів денної та заочної форм навчання спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування» та 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Магістр». Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. 2023. 246 с.

22. Бабій А.В., Коноваленко С.І., Бабій М.В., Цепенюк М.І. Причіпний пристрій широкозахватної машини. Деклараційний патент на корисну модель



140142 A01B 59/06 (2006.01). Заявлено 24.06.2019, u201907015 опубліковано 10.02.2020, бюл. № 3/2020.

23. Бабій А.В., Рибак Т.І., Попович П.В., Господарський Я.Я., Сікорський С.П. Механізм зміни ширини колії. Деклараційний патент на корисну модель 73090 A01B 51/00; заявл. 01.03.2012, опубл. 10.09.2012, бюл. № 17.

24. Бабій М. В. Дослідження роботи енергозберігаючого приводного механізму косарки / Марія Василівна Бабій, Андрій Васильович Бабій // Вісник ТНТУ — Тернопіль : ТНТУ, 2015. — Том 77. — № 1. — С. 149-161. — (Машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки).

25. Бабій А., Лещак Р., Барна Р. Корозійна тривкість сталі рами штангових обприскувачів у рідинному середовищі агрохімікатів. Проблеми корозії та протикорозійного захисту конструкційних матеріалів: спец. вип. журналу „Фізико-хімічна механіка матеріалів”. № 13. Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2020. С. 356–360.

26. Бабій А.В., Рибак Т.І., Бабій М.В. Обґрунтування конструктивних особливостей енергозберігаючого приводного механізму косарки. Вісник ХНТУСГ. – Випуск 134 “Технічний сервіс машин для рослинництва”. Харків, 2013. С.116–122.

27. Головецький І.В., Бабій А.В. Конструктивні особливості та ефективність роботи міні картоплекопачів. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2023. Вип. 8(39), ч.ІІ. С. 134-143.

28. Довбуш Т.А., Хомик Н.І., Бабій А.В., Цьонь Г.Б., Довбуш А.Д. Опір матеріалів: навчальний посібник до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. 220 с.

29. Желібо Є.П., Заверуха Н.М., Зацарний В.В. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник / За ред. Є.П. Желібо, В.М.Пічі. Львів: „Новий світ–2000”, 2002. – 328 с.

30. Зінченко О.І., Салатенко В.Н., Білоножко М.А. Рослинництво: підручник. За ред. О.І. Зінченка. К. : Агроосвіта, 2001. 591 с.

31. Керб Л. П. Основи охорони праці: Навч. пос. К.: КНЕУ, 2003. 215с.
32. Левицький Б.Б., Бабій А.В. Аналіз конструктивних особливостей мініобприскувачів для невеликих фермерських господарств. Центральнoукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2023. Вип. 8(39), ч.ІІ. С. 116-125.
33. Левицький Б.Б., Бабій А.В. Дослідження опору переміщенню обприскувача. Матеріали ІV Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems", Кропивницький : ЦНТУ, 2022. С.106-107.
34. Лещак Р.Л., Бабій А.В., Барна Р.А., Бабій М.В., Гіряк Р.С., Сиротюк А.М. Корозійна тривкість покриття каркаса штанги сільськогосподарського обприскувача. ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ. Том 58, №2. Львів: Фізико–механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2022. С. 116–121.
35. Лімонт А.С., Мельник І.І., Малиновський А.С. та ін. Практикум з машиновикористання в рослинництві: Навч. посібник / За ред. І.І. Мельника. К.: Кондор, 2004. 284 с.
36. Опір матеріалів. Під заг. ред. акад. АН УРСР Г. С. Писаренко. К.:Вища школа, 1974. 304 с.
37. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. К.: Вища шк., 1993. 556 с.
38. Розподільник штанговий. Інструкція з експлуатації. 48 с.
39. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку : навч. посіб. / за ред. Д. Г. Войтюка; авт. кол.: / Д.Г. Войтюк, С.С.Яцун, М.Я. Довжик. Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. 543 с.

**ДОДАТКИ**