

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: **Підвищення надійності розкидача органічних добрив РОУ-6
з удосконаленням ходової частини**

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МГс-41
спеціальності 208

Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності)

Битковський М.С.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Олексюк А.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Сташків М.Я.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Бабій А.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

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.
(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 Битковському Михайлу Степановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення надійності розкидача органічних добрив РОУ-6
з удосконаленням ходової системи

Керівник роботи Олексюк Василь Петрович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 22 » січня 2026 року № 4/9-56

2. Термін подання студентом завершеної роботи 24 червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи _____

Базова конструкція розкидача органічних добрив РОУ-6, вантажопідйомність – 6 т,
місткість кузова – 6,5 м³, робоча швидкість – 2 м/с, продуктивність – 10 га/год,

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

Реферат. Вступ. 1. Оглядова частина. 2. Обґрунтування експлуатаційних характеристик
розкидача органічних добрив. 3. Проектна частина. 4. Безпека життєдіяльності,
основи охорони праці. Загальні висновки

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

1. Аналіз технологій внесення органічних добрив. 2. Огляд техніки для розкидання органічних
добрив. 3. Машина для внесення твердих органічних добрив. Схема функціональна. 4 Розкидач
твердих органічних добрив. Загальний вигляд. 5. Розкидач твердих органічних добрив. Схема
кінематична. 6. Візок балансирний. Складальне креслення. 7. Деталювання.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Лазарюк В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання

22.01.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Оглядова частина	02.02.2026 р.	
2	Обґрунтування експлуатаційних характеристик розкидача органічних добрив	09.02.2026 р.	
3	Проектна частина.	15.05.2026 р.	
4	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	25.05.2026 р.	
5	Реферат. Вступ. Висновки.	05.06.2026 р.	
6	Ілюстративна частина. Додатки	15.06.2026 р.	

Студент

_____ (підпис)

Битковський М.С.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Олексюк В.П.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Автор роботи – Битковський Михайло Степанович

Тема роботи – «Підвищення надійності розкидача органічних добрив РОУ-6 з удосконаленням ходової системи».

Робота виконана на кафедрі технічної механіки та сільськогосподарських машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Керівник роботи – Олексюк Василь Петрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин.

Актуальність теми роботи

Аналіз роботи розкидача органічних добрив показує, що він має суттєвий недолік, що стосується конструкції ходової частини – вона є дорогою, матеріаломісткою і недостатньо надійною. Найпоширенішою проблемою є зношення втулок балансирів. Це відбувається внаслідок постійних навантажень та недостатнього змащування, через що втулки балансирів підвіски стираються. Це призводить до появи люфтів, порушення розвалу-сходження коліс, відповідно порушення геометричних параметрів підвіски що своєю чергою викликає прискорене та нерівномірне зношення шин. Також часто виходять з ладу підшипники ступиць коліс.

Тому у кваліфікаційній роботі ставиться завдання вдосконалення ходової системи розкидача РОУ-6, а саме балансира візка, що дасть можливість підвищити надійність даної конструкції.

Отже тематика кваліфікаційної роботи є актуальною.

Мета роботи

Основна мета кваліфікаційної роботи бакалавра полягає в підвищенні надійності розкидача органічних добрив РОУ-6 з удосконаленням його ходової системи, шляхом розробки конструкції осей колісних пар і осей кріплення балансира до рами.

Об'єкт, методи та джерела дослідження

Об'єкт дослідження. Розкидач органічних добрив РОУ-6.

Предмет дослідження. Ходова системи розкидача РОУ-6.

Методи дослідження. Економіко-статистичний, порівняльний, математичного моделювання, теоретико-емпіричний.

Отримані результати:

- проведено аналіз сучасних технологій внесення органічних добрив;
- здійснено огляд актуальної техніки для розкидання органічних добрив;
- обґрунтовано експлуатаційні характеристики розкидача органічних добрив РОУ-6, розглянуто його конструкцію та технологічний процес роботи;
- виконано розрахунки техніко-експлуатаційних показників роботи розкидача, а саме розглянуто питання комплектування агрегату для внесення органічних добрив;
- проведено розрахунки режимів роботи агрегату та експлуатаційних затрат на проведення робіт з внесення органічних добрив;
- запропоновано вдосконалення ходової системи розкидача РОУ-6, а саме балансирного візка, що дасть можливість підвищити надійність розкидача в цілому;
- проведено обґрунтування режимів роботи розкидного пристрою;
- виконано розрахунок необертової осі колісної пари та осі балансира;
- проведено вибір підшипників ковзання;
- здійснено конструювання ходової системи розкидача, зокрема осі колеса та осі балансира;
- розглянуто вимоги охорони праці та заходи безпеки при експлуатації техніки призначеної для внесення органічних добрив.

Практичне значення отриманих результатів.

Запропоновані у роботі технічні рішення дозволяють підвищити надійність роботи розкидача органічних добрив РОУ-6 та зменшити металомісткість його ходової частин.

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається

з вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань та додатків. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 57, додатки – 3 арк. формату А4, ілюстративний матеріал – 12 арк. формату А4.

Ключові слова: розкидач, машинно-тракторний агрегат, трактор, органічні добрива, розкидний пристрій.

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

Розділ 2:

G_m - вага машини, кН;

m - маса машини, т;

G_{ep} - вага вантажу, кН;

f_{mp} - коефіцієнт опору коченню трактора;

i - ухил, %;

$N_{вом}$ - потужність на привід ВВП, кВт;

η_{m2} - ККД трансмісії трактора;

$\eta_{вом}$ - ККД приводу валу відбору потужності;

n_n і i_{mp} - номінальна частота обертання колінчастого вала двигуна (хв^{-1}) і передавальне число трансмісії на передачі відповідно;

r_0 і $h_{ш}$ - радіус обода і висота шини колеса трактора, м;

$\lambda_{ш}$ - коефіцієнт осадки шини;

G_{ep}' - вага кузова, заповненого наполовину кН;

η_{δ} - ККД буксування трактора;

Q_m - необхідна маса матеріалу на завантаження одного агрегату, т;

$W_{зпп}$ - продуктивність завантажувального пристрою, т/год;

n_m і $n_{в.р}$ - кількість механізаторів і допоміжних робітників, обслуговуючих МТА.

Розділ 3:

r - радіус барабана, м;

l_x - відстань від заданої стінки машини на якій випадають добрива, м;

d - діаметр осі, мм;

f_{max} - максимальний прогин (стріла прогину), мм;

$[f]$ - допустима стріла прогину, мм;

E - модуль пружності матеріалу, $\text{кг}\cdot\text{см}^2$;

σ_{-1} - границя витривалості при згині, МПа;

σ_a – амплітуда циклу при згині, МПа;

ε – масштабний фактор, тобто коефіцієнт, що враховує вплив розмірів перерізу осі на її міцність;

β – коефіцієнт зміщення;

Ψ_δ – коефіцієнт, що враховує вплив асиметрії циклу напружень осі при згині,

h_0 – товщина мастильного шару в перерізі, мм;

δ – товщина вкладиша, мм.

ЗМІСТ

Вступ	10
1. Оглядова частина	11
1.1. Аналіз сучасних технологій внесення органічних добрив.....	11
1.2. Огляд техніки для розкидання органічних добрив.....	14
2. Обґрунтування експлуатаційних характеристик розкидача органічних добрив	21
2.1. Будова і технологічний процес розкидача органічних добрив РОУ-6.....	21
2.2. Розрахунок техніко-експлуатаційних показників роботи розкидача РОУ-6.....	24
3. Проектна частина	32
3.1. Обґрунтування режимів роботи розкидного пристрою.....	32
3.2. Розрахунок необертової осі колісної пари.....	33
3.3. Розрахунок осі балансира.....	37
3.4. Розрахунок підшипників ковзання.....	41
3.5. Розробка конструкції складальних одиниць.....	45
4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	49
4.1. Виникнення травмонебезпечних ситуацій при внесенні органічних добрив розкидачами.....	49
4.2. Охорона праці при виконанні механізованих робіт із внесення органічних добрив.....	51
Загальні висновки	54
Перелік посилань	55
Додатки	70

ВСТУП

Сучасний розвиток глобального аграрного ринку супроводжується не лише необхідністю збільшення обсягів виробництва сільськогосподарської продукції, а й підвищенням вимог до її якості. Одним із важливих напрямів розвитку аграрного виробництва є застосування органічних добрив та засобів на основі органічних компонентів. Використання органічних добрив має вагомe значення для підтримання та відновлення родючості ґрунтів, особливо в умовах тривалого зниження вмісту гумусу в українських ґрунтах.

Застосування машин для внесення органічних добрив сприяє забезпеченню рослин необхідними поживними речовинами, покращенню агрофізичних властивостей ґрунту, підвищенню врожайності сільськогосподарських культур та покращенню якісних показників продукції.

Ефективність використання машинно-тракторних агрегатів значною мірою визначається впровадженням технічних, організаційних та інженерних рішень, спрямованих на забезпечення високої якості виконання технологічних операцій у встановлені агротехнічні строки за умови досягнення економічної доцільності відповідно до виробничих умов господарства.

У сучасному аграрному виробництві України спеціалізовані машини для внесення органічних добрив використовуються не лише за основним призначенням, а й для транспортування сільськогосподарських вантажів на невеликі відстані, переважно до 30 км, у тому числі в умовах складної прохідності.

Сезонний характер використання такої техніки призводить до її нерівномірного завантаження протягом року, оскільки найбільш інтенсивна експлуатація припадає на весняний та осінній періоди, тоді як в інший час машини переважно перебувають на зберіганні. У зв'язку з цим важливим завданням є підвищення ефективності використання технічного потенціалу спеціалізованих машин шляхом розширення функціональних можливостей та удосконалення організації їх експлуатації.

1. ОГЛЯДОВА ЧАСТИНА

1.1. Аналіз сучасних технологій внесення органічних добрив

Органічні добрива відіграють важливу роль у підвищенні родючості ґрунтів, покращенні їх структури та біологічної активності. До них відносять гній, компости, сидерати, біогумус та інші органічні матеріали. Ефективність їх застосування значною мірою залежить не лише від складу, але й від технології внесення, яка визначає:

- коефіцієнт використання поживних речовин;
- рівень втрат (вимивання, випаровування, фіксація);
- вплив на ґрунтову біоту;
- екологічні ризики.

Неправильне внесення може призводити до значних втрат азоту (особливо у вигляді аміаку) та забруднення довкілля залежить від способу внесення, строків та умов.



Рисунок 1.1 – Внесення органічних добрив

Технології внесення органічних добрив класифікуються за способом внесення, за агрегатним станом та за організацією процесу.

За способом внесення: поверхнєве (розкидне), локальне (стрічкове, рядкове), глибинне, рідинне (ін'єкційне, фертигація).

За фазою добрива: тверді (гній, компост), рідкі (гноюва рідина, дигестат), газоподібні (рідко, наприклад аміак).

За технологічною схемою: прямоточна, перевалочна, двофазна .

Основні технології внесення органічних добрив:

Розкидне внесення (broadcasting)

Суть технології полягає в рівномірному розподіленні добрив по поверхні поля з подальшим загортанням у ґрунт.

Особливості: норма внесення: 20–40 т/га (для гною); загортання на глибину 15–20 см; використовується перед посівом.

Перевагами є простота та універсальність, можливість внесення великих доз, покращення структури ґрунту. До недоліків відносять втрати азоту через випаровування, нерівномірне використання поживних речовин, ризик вимивання.

Локальне внесення (placement)

Внесення добрив відбувається безпосередньо в зону розміщення кореневої системи.

Основні варіанти: стрічкове (band placement); рядкове; гніздове (для багаторічних культур); підживлення міжрядь (side-dressing).

Перевагами є підвищення коефіцієнта використання поживних речовин, зменшення втрат, обмеження росту бур'янів. Недолік – складніша технологія та потреба у спеціалізованій техніці.

Глибинне внесення

Закладення добрив відбувається у глибші шари ґрунту (10–20 см і більше). Застосовується на легких ґрунтах, у посушливих умовах, при внесенні рідких органічних добрив.

Переваги – зменшення втрат азоту та довготривала дія.

Поверхнєве підживлення (top-dressing)

Внесення органічних добрив проводиться у період вегетації без загортання або з частковим загортанням. Застосовується для швидкого забезпечення азотом і є ефективним при достатній вологості.

Внесення з поливною водою (фертигація)

Суть методу полягає в подаванні розчинених органічних добрив через системи зрошення (краплинне, дощування).

Перевагами є висока точність дозування, мінімальні втрати поживних речовин, синхронізація з фазами росту рослин. За рахунок цього досягається зменшення втрат нітратів до ~7%, підвищення засвоєння до ~70%.

Ін'єкційне внесення рідких органічних добрив

Внесення гнойової рідини або дигестату безпосередньо в ґрунт за допомогою інжекторів.

Перевагами такого способу внесення є майже повне усунення втрат аміаку, висока екологічна ефективність, зменшення запахів.

Позакореневе підживлення (обмежено для органіки)

При такому методі виконують обприскування рослин розчинами органічних добрив. Застосовується переважно для мікроелементів, при цьому покриває до 10% потреб рослин.

Вибір оптимальної технології залежить від типу добрива (тверде/рідке); культури; ґрунтового-кліматичних умов; наявності техніки; економічної доцільності. Жодна технологія не є універсальною - ефективність визначається правильним поєднанням способу внесення, часу та агротехнічних умов

Найбільш поширеними є розкидне та локальне внесення, але сучасні системи (фертигація, ін'єкція) демонструють вищу ефективність.

Інноваційні підходи (точне землеробство, біологізація) сприяють підвищенню коефіцієнта використання поживних речовин та зменшенню екологічного навантаження.

Подальший розвиток технологій спрямований на ресурсозбереження, екологізацію та автоматизацію процесів внесення добрив.

1.2. Огляд техніки для розкидання органічних добрив

В умовах сільськогосподарського виробництва України широкого застосування набули мобільні кузовні розкидачі твердих органічних добрив, які забезпечують високу продуктивність процесу внесення органічної маси. До основних вимог, що висуваються до даного виду техніки, належать забезпечення встановленої норми внесення добрив, мінімізація відхилення фактичної норми від заданої, а також рівномірність розподілу матеріалу по ширині захвату та напрямку руху агрегату.

Однією з найважливіших вимог до роботи розкидачів органічних добрив є забезпечення рівномірного розподілу добрив по поверхні поля, оскільки від цього залежить ефективність використання поживних речовин та якість виконання технологічного процесу.

Конструктивно більшість розкидачів органічних добрив оснащується двома основними типами розкидних механізмів: з вертикальними лопатевими валами та з горизонтальним розташуванням робочих органів.

Розкидачі органічних добрив із вертикальними лопатевими валами (рис. 1.2) належать до найбільш ефективних технічних засобів для поверхневого внесення твердого гною, компосту, торфу та інших видів органічних матеріалів. Така конструкція забезпечує ефективне подрібнення органічної маси та сприяє рівномірному її розподілу на значну ширину захвату.

Вертикальний розкидний механізм складається із чотирьох пар барабанів, розташованих паралельно під кутом 75° до площини транспортера. Барабани встановлюються на підшипникових вузлах, закріплених на несній рамі машини.

Вертикальні розкидні механізми залежно від конструктивного виконання поділяються на декілька основних типів.

Двовальцеві механізми, обладнані двома вертикальними валами, характеризуються універсальністю застосування та придатні для роботи з різними видами органічних добрив, у тому числі з в'язкими та щільними органічними масами.

Чотиривальцеві механізми оснащуються чотирма вертикальними валами та переважно використовуються для внесення щільного або свіжого гною з підвищеним вмістом соломистих включень, що потребують інтенсивнішого подрібнення та розподілу.

Окремим конструктивним різновидом є *вертикальні вали з додатковими розкидними дисками*. У нижній частині таких механізмів встановлюються два диски значного діаметра, які забезпечують збільшення ширини внесення добрив до 12–24 м. Подібні системи ефективно застосовуються для розподілу легших органічних матеріалів, зокрема компосту, дефекату та інших сипких органічних добрив.



Рисунок 1.2 – Розкидач органічних добрив ТЕВВЕ MS 140 з вертикальними лопатевими валами

Розкидачі органічних добрив з горизонтальними лопатевими валами (рис. 1.3) застосовуються переважно для внесення гною із солом'яною підстилкою. Конструкція таких машин забезпечує ширину розподілення органічної маси в межах 6–8 м.

Горизонтальний розкидний механізм конструктивно включає

подрібнювальний пристрій та розкидний барабан, які встановлюються на підшипникових вузлах, закріплених на бокових елементах рами.

Однією з основних переваг горизонтальних валів є забезпечення ефективного подрібнення органічної маси. Такі механізми характеризуються високою ефективністю роботи з важким гноєм, що містить значну кількість солом'яної підстилки, забезпечуючи його розпушування та рівномірне розподілення по поверхні поля.

Горизонтальні розкидні механізми також відзначаються високою продуктивністю та здатністю забезпечувати внесення значних обсягів органічних добрив.

Додатковою перевагою даного типу машин є їх універсальність. Завдяки використанню змінних задніх бортів або знімних адаптерів такі агрегати можуть застосовуватися не лише для внесення органічних добрив, а й для транспортування силосу, зеленої маси та інших сільськогосподарських вантажів.

На сучасному ринку техніки для внесення органічних добрив представлені як вітчизняні, так і зарубіжні виробники, які пропонують широкий спектр машин різної продуктивності та конструктивного виконання.

Серед українських виробників поширення набули машини виробництва компанії «Кобзаренко», зокрема універсальні розкидачі серії РОД, які призначені для внесення органічних добрив та виконання транспортних операцій.

До вітчизняних виробників також належить *ПрАТ «Одесаагроماش»*, яке випускає розкидачі типу ПРТ-10, обладнані горизонтальними розкидними барабанами.

Серед європейських виробників вагоме місце займає польська компанія *Pronar*, техніка якої представлена моделями з горизонтальними адаптерами, зокрема серії N161.

Високопродуктивні розкидачі органічних добрив також виробляє німецька компанія *Annaburger*, техніка якої широко використовується в

європейських країнах та сільськогосподарських підприємствах України.

Окремий сегмент ринку представлений виробниками *Helios*, *Bergmann* та *Grazioli*, які спеціалізуються на випуску високопродуктивних машин із комбінованими системами внесення органічних добрив, що поєднують горизонтальні шнекові механізми та розкидні тарілки.



Рисунок 1.3 – Розкидач органічних добрив *Annaburger* з горизонтальними лопатевими валами

У більшості сучасних агрегатів подача органічних добрив до розкидного механізму здійснюється за допомогою поздовжнього одно- або двострічкового транспортера, розташованого в днищі кузова. Така конструкція забезпечує безперервне переміщення органічної маси до робочих органів розкидного пристрою.

Разом з тим, ланцюгово-транспортерні системи нерідко є одним із найбільш вразливих елементів конструкції розкидачів, оскільки потребують систематичного технічного обслуговування та додаткових витрат на ремонтні роботи. У зв'язку з цим виробники сільськогосподарської техніки здійснюють пошук альтернативних технічних рішень для вдосконалення механізмів подачі

добрив.

Одним із сучасних напрямів удосконалення конструкції є використання механізму висувної стінки для подачі органічної маси до розкидного пристрою. Така система включає сталеву переміщувану стінку, встановлену на кронштейнах, П-подібні напрямні елементи, рухоме днище кузова та гідроциліндр приводу (рис. 1.4).

Регулювання швидкості переміщення рухомого днища та висувної стінки здійснюється механічним або електричним потенціометром, що забезпечує підтримання заданої норми внесення добрив. Застосування такого механізму сприяє підвищенню експлуатаційної надійності агрегату та дозволяє зменшити витрати на технічне обслуговування і ремонт.



Рисунок 1.4 – Розкидач органічних добрив Fliegl ADS100 з механізмом подання добрив типу «рухома стінка»

У технологіях внесення органічних добрив також застосовуються агрегати з бічними розкидними механізмами, обладнаними ланцюгово-молотковими робочими органами (рис. 1.5).

Конструкція такого механізму передбачає використання ланцюгів із масивними наконечниками, закріпленими на роторному валу. Під час

обертання ротора з частотою 240 об/хв органічний матеріал піддається подрібненню робочими елементами до дрібних фракцій, після чого забезпечується його рівномірний розподіл по поверхні поля.



Рисунок 1.5 – Розкидач з ланцюгово-молотковим розкидним механізмом



Рисунок 1.6 – Розкидач органічних добрив JBS Float-Maxx з гусеничними рушіями

Для виконання технологічних операцій на полях із підвищеним рівнем зволоження та з метою зменшення ущільнення ґрунту застосовуються машини для внесення органічних добрив, оснащені гусеничними рушіями (рис. 1.6). До даної категорії техніки належать моделі «Meyer 9524» (Meyer), FLOAT-MAXX (JBS), EV2200 (BROCHARD), HS240 (TEBBE).

Використання гусеничної ходової частини забезпечує зниження питомого тиску на поверхню ґрунту, що сприяє зменшенню його ущільнення та збереженню агрофізичних властивостей. Крім того, такі машини характеризуються високою прохідністю в складних умовах експлуатації, зокрема на перезволожених ґрунтах та за несприятливих погодних умов.

Конструктивні особливості гусеничних рушіїв дозволяють використовувати дану техніку для внесення органічних добрив не лише в традиційні агротехнічні строки, а й за умов зимового періоду, зокрема за наявності снігового покриву.

2. ОБГРУНТУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОЗКИДАЧА ОРГАНІЧНИХ ДОБРИВ

2.1. Будова і технологічний процес розкидача органічних добрив РОУ-6

Розкидач органічних добрив РОУ–6 (рис. 2.1) призначений для завантаження органічних добрив, торфокришки та компостів за допомогою похилого транспортера, їх транспортування до місця використання та рівномірного внесення по поверхні ґрунту.



Рисунок 2.1 – Розкидач органічних добрив РОУ-6

За умови демонтажу розкидального механізму агрегат може використовуватися як транспортний засіб для перевезення різних видів сільськогосподарських вантажів.

Розкидач органічних добрив являє собою двовісний напівпричіп, конструкція якого включає такі основні вузли: раму, кузов, ходову частину, гальмівну систему, електрообладнання та гідросистему.

До основних конструктивних елементів розкидача належать:

– *рама*, виконана у вигляді зварної конструкції, що складається з двох поздовжніх лонжеронів, з'єднаних передньою балкою-поперечиною. У передній частині рами розміщена сниця, у середній – поперечна балка для встановлення балансирів, а в задній – площадка кріплення редуктора та кронштейни для встановлення валів приводу транспортерів і розкидального механізму. Рама виконує функцію несучого елемента конструкції та забезпечує з'єднання кузова і ходової частини;

– *ходовою частиною*, виконана за схемою «Тандем», яка включає праву та ліву колісні пари, встановлені на балансирних механізмах, що забезпечують адаптацію агрегату до нерівностей поверхні поля;

– *кузов*, який має прямокутну форму та складається з двох бокових бортів, переднього борта та днища. Бокові й передній борти виготовлені у вигляді зварних каркасів, обшитих листовим гнучим профілем. Для збільшення місткості кузова передбачено встановлення надставних бортів. Днище виготовлене з листового матеріалу гофрованого профілю;

– *гальмівна система*, оснащена колодковими гальмами з однопровідним пневматичним приводом, який керується з кабіни трактора. Пневматичний привід забезпечує одночасне спрацювання гальм трактора та розкидача, а також аварійне гальмування агрегату при його від'єднанні;

– *стояночна гальмівна система*, призначена для утримання розкидача в нерухомому стані під час стоянки. Привід стоянкового гальма – механічний;

– *ходовою системою*, яка складається з двох колісних пар та балансирів, з'єднаних між собою віссю. Колісні осі встановлені на балансирах, що

здійснюють коливальні рухи відносно рами. Обертання коліс забезпечується роликівими конічними однорядними підшипниками;

– *транспортер*, призначений для подачі органічної маси до розкидального пристрою або для розвантаження кузова у транспортному режимі. Конструкція транспортера передбачає використання чотирьох ланцюгів, об'єднаних у дві незалежні гілки з окремими натяжними пристроями. На ланцюгах за допомогою скоб закріплені скребки для переміщення технологічного матеріалу;

– *розкидальний пристрій*, призначений для поверхневого внесення органічних добрив, який складається з подрібнювального та розкидального барабанів, встановлених у підшипникових вузлах бокових стійок конструкції.

Розкидач органічних добрив агрегується з тракторами тягового класу 14 кН і вище, що забезпечує ефективне виконання транспортно-технологічних операцій під час внесення органічних добрив.

У технологічному процесі взаємодіючою машиною є похилий транспортер гноєприбирального конвеєра типу КСГ-7, призначений для видалення гною з тваринницьких приміщень та його одночасного завантаження у транспортний засіб, функцію якого виконує розкидач.

Технологічний процес роботи агрегату здійснюється у визначеній послідовності. На початковому етапі розкидач встановлюють під похилим транспортером гноєприбирального конвеєра, після чого виконується рівномірне заповнення кузова органічною масою. Після завершення завантаження агрегат транспортується трактором до місця внесення добрив, де органічна маса рівномірно розподіляється по поверхні поля з подальшим внесенням у верхній шар ґрунту.

Розкидач органічних добрив РОУ-6, незважаючи на достатній рівень експлуатаційної надійності, характеризується наявністю окремих недоліків ходової частини, які обумовлені значними динамічними навантаженнями, впливом агресивного середовища та тривалим періодом використання техніки.

Аналіз конструктивно-технологічної схеми розкидача свідчить про

наявність суттєвих недоліків у конструкції ходової системи, яка характеризується підвищеною матеріаломісткістю, значною вартістю виготовлення та недостатнім рівнем надійності окремих вузлів.

Однією з найбільш поширених проблем є зношування втулок балансирів, що виникає внаслідок дії постійних навантажень та недостатнього змащування елементів підвіски. Зношування втулок призводить до виникнення люфтів, порушення геометричних параметрів підвіски та зміни положення коліс, що спричиняє прискорене й нерівномірне спрацювання шин. Крім того, в процесі експлуатації нерідко виникають відмови підшипникових вузлів ступиць коліс.

У зв'язку з цим у кваліфікаційній роботі поставлено завдання підвищення надійності ходової системи розкидача РОУ-6 шляхом удосконалення конструкції балансирного візка.

Запропоноване удосконалення передбачає модернізацію конструкції осей колісних пар та осей кріплення балансира до рами, а також застосування підшипників ковзання замість підшипників кочення, що сприятиме підвищенню довговічності та надійності роботи ходової системи агрегату.

2.2. Розрахунок техніко-експлуатаційних показників роботи розкидача РОУ-6

Комплектування агрегату для внесення органічних добрив

Склад агрегату: трактор Беларус 1221+розкидач РОУ-6.

Проведемо розрахунки для визначення раціональної робочої передачі трактора, яка забезпечить його оптимальне завантаження з урахуванням допустимих агротехнічних швидкостей.

Вибір передач здійснюємо з орієнтацією на II та III передачі 3-го діапазону, оскільки за цих режимів роботи тягова потужність трактора є максимальною в межах заданих агротехнічних швидкостей [17].

Для II та III передач знайдемо:

- Тяговий опір агрегату

$$R_M = (G_M + G_{zp}) \cdot \left(f_{mp} + \frac{i}{100} \right), \quad (2.1)$$

$$G_M = m \cdot g, \quad (2.2)$$

де $m = 5,65$ т, [17]; $g = 9,81$ м/с².

$$G_M = 9,81 \cdot 5,65 = 55,43 \text{ кН};$$

$$G_M = 11 \cdot 9,81 = 107,91 \text{ кН}, [17].$$

$f_{тр} = 0,03$.

Тоді

$$R_M = (55,43 + 107,91) \cdot \left(0,03 + \frac{2}{100} \right) = 8,17 \text{ кН}.$$

- Опір агрегату на привід вала зняття потужності

$$R_{BOM} = \frac{10 \cdot N_{BOM} \cdot \eta_{mz} \cdot i_{mp}}{n_n \cdot r_k \cdot \eta_{BOM}}, \quad (2.3)$$

де $N_{BOM} = 36,7$ кВт (табл. 2.12. [17]); $\eta_{mz} = 0,92$ [16]; $\eta_{BOM} = 0,95$ [16].

Радіус кочення ведучих коліс (м):

$$r_k = r_0 + \lambda_{uu} \cdot h_{uu}, \quad (2.4)$$

де $r_0 = 0,483$ м; $h_{uu} = 0,392$ м; $\lambda_{uu} = 0,95$ [17].

Тоді

$$r_k = 0,483 + 0,95 \cdot 0,392 = 0,855 \text{ м}.$$

3 діапазон II передачі: $R_{\text{ВОМ}} = \frac{10 \cdot 36,7 \cdot 0,92 \cdot 65,7}{2100 \cdot 0,855 \cdot 0,95} = 13,005 \text{ кН};$

3 діапазон III передачі: $R_{\text{ВОМ}} = \frac{10 \cdot 36,7 \cdot 0,92 \cdot 54,4}{2100 \cdot 0,855 \cdot 0,95} = 10,77 \text{ кН}.$

Загальний тяговий опір (кН):

$$R_a = R_m + R_{\text{вом}}, \quad (2.5)$$

3 діапазон II передачі: $R_a = 8,71 + 13,01 = 21,72 \text{ кН};$

3 діапазон III передачі: $R_a = 8,71 + 10,77 = 19,48 \text{ кН}.$

Коефіцієнт використання номінального тягового зусилля:

$$\eta_n = \frac{R_a}{P_{\text{кр.н}} - G_{\text{тр}} \cdot i/100}, \quad (2.6)$$

де $G_{\text{тр}} = 43,7 \text{ кН}$ - вага трактора.

Тоді

3 діапазон II передачі: $\eta_n = \frac{21,72}{21,6 - 43,7 \cdot 2/100} = 0,96;$

3 діапазон III передачі: $\eta_n = \frac{19,48}{17,6 - 43,7 \cdot 2/100} = 1,05.$

Приймаємо 2-гу передачу 3-го діапазону, оскільки під час роботи на 3-й передачі енергетичний засіб не забезпечує необхідного тягового зусилля для агрегування з розкидачем.

Розрахунок режимів роботи агрегатів

Значення опору агрегату під час холостого ходу, зокрема при виконанні повороту наприкінці гону, визначаємо за відповідною залежністю:

$$R_{ax} = (G_M + G_{zp}) \cdot \left(f_{mp} + \frac{i}{100} \right); \quad (2.7)$$

$$G_{zp} = 1,5 \cdot G_M = 0,5 \cdot 107,91 = 53,96 \text{ кН};$$

$$R_{ax} = (55,43 + 53,96) \cdot \left(0,03 + \frac{2}{100} \right) = 5,47 \text{ кН}.$$

Величина швидкості п робочому ході:

$$V_p = V_x - \frac{R_a (V_x - V_{pn})}{P_{крн}}, \quad (2.8)$$

$$V_p = 9,36 - \frac{21,72(9,36 - 7,76)}{21,6} = 7,75 \text{ км/год}.$$

Величину швидкості руху агрегату під час холостого ходу без перемикання передач визначаємо за відповідною залежністю:

$$V_{px} = V_x - \frac{R_{ax} (V_x - V_{pn})}{P_{крн}}, \quad (2.9)$$

$$V_{px} = 9,36 - \frac{5,47(9,36 - 7,76)}{21,6} = 8,95 \text{ км/год}.$$

Погодинні витрати палива на II передачі:

- робочий хід

$$G_{mp} = G_x + \frac{R_a (G_{mn} - G_x)}{P_{крн}}, \quad (2.10)$$

$$G_{mp} = 7,83 + \frac{21,72(21,67 - 7,83)}{21,6} = 21,75 \text{ кг/год},$$

- холостий хід

$$G_{mx} = G_x + \frac{R_{ax}(G_{mn} - G_x)}{P_{крн}}; \quad (2.11)$$

$$G_{mp} = 7,83 + \frac{5,47(21,67 - 7,83)}{21,6} = 11,33 \text{ кг/год.}$$

Коефіцієнт використання максимального тягового зусилля визначаємо відповідно до рекомендацій, наведених у [3].

$$\eta_{ум} = \eta_u \cdot \frac{V_p}{V_{рн}} = 0,96 \cdot \frac{7,75}{7,76} = 0,959.$$

Величина тягового ККД:

$$\eta_m = \frac{N_{кр}}{N_e};$$

$$N_e = \frac{R_a + G_{mp} \cdot (f_{mp} + i/100)}{3,6 \cdot \eta_{mp} \cdot \eta_\delta} \cdot V_p, \quad (2.12)$$

де $\eta_\delta = 1 - \delta/100 = 1 - 0,17 = 0,83$.

$$N_e = \frac{21,72 + 43,7 \cdot (0,03 + 2/100)}{3,6 \cdot 0,92 \cdot 0,83} \cdot 7,75 = 87,39 \text{ кВт};$$

$$N_{кр} = \frac{R_a \cdot V_p}{3,6} = \frac{21,72 \cdot 7,75}{3,6} = 54,74 \text{ кВт.}$$

Тоді

$$\eta_m = \frac{54,74}{87,39} = 0,6.$$

Величина максимального тягового ККД:

$$\eta_{T \max} = \frac{N_{кр, \max}}{N_{ен}} = \frac{58,2}{96,0} = 0,61.$$

Величина коефіцієнта завантаження двигуна:

$$\eta_N = N_e / N_{en} = 87,39 / 96,0 = 0,91 .$$

Визначення експлуатаційних затрат на проведення робіт

Визначимо величину годинної технічної продуктивності та змінної технічної продуктивності агрегату, відповідно до розрахункових залежностей:

$$W_z = 0,1 \cdot V_p \cdot B_p \cdot \tau_{cm} = 0,1 \cdot 7,75 \cdot 5,5 \cdot 0,866 = 3,7 \text{ га/год}, \quad (2.13)$$

$$W_{cm} = W_z \cdot T_{cm} = 0,3 \cdot 10 = 37 \text{ га/зм}. \quad (2.14)$$

Витрати палива за зміну (кг/зм):

$$Q_{cm} = G_{mp} \cdot T_{mp} + G_{mx} \cdot T_x + G_{m0} \cdot T_0 = 21,75 \cdot 8,09 + \\ + 11,33 \cdot 0,072 + 6,2 \cdot 1,84 = 188,18 \text{ кг/зм} \quad (2.15)$$

Погектарні витрати палива (кг/га):

$$Q_{ga} = \frac{Q_{cm}}{W_{cm}} = \frac{188,18}{37} = 5,08 \text{ кг/га}. \quad (2.16)$$

Затрати праці на одиницю об'єму робіт:

- прямі

$$z_{прям} = \frac{n_m}{W_z} = \frac{1}{3,7} = 0,27 \text{ люд} \cdot \text{год/га} . \quad (2.17)$$

- загальні

$$z_{mp}^{заг} = \frac{n_m + n_{в.р}}{W_z} = \frac{1+0}{3,7} = 0,27 \text{ люд} \cdot \text{год}/\text{га} . \quad (2.18)$$

Витрати грошових коштів на одиницю роботи:

$$S_o = \sum S_a + \sum S_{mo} + S_{nm} + S_{zn} . \quad (2.19)$$

Відрахування на амортизацію:

- енергозасіб

$$S_a = \frac{(a_p + a_k) \cdot B \cdot 7}{T_p \cdot 100 \cdot W_z} = \frac{(14,3 + 2,7) \cdot 350000 \cdot 7}{1000 \cdot 100 \cdot 3,7} = 273,4 \text{ грн/га} , \quad (2.20)$$

де $a_p=14,3\%$, $a_k=2,7\%$.

- розкидач добрив:

$$S_{a_m} = \frac{(20+0) \cdot 75000 \cdot 7}{200 \cdot 100 \cdot 3,7} = 141,9 \text{ грн/га} .$$

Сумарні амортизаційні відрахування:

$$\sum S_a = S_a + S_{a_m} = 273,4 + 141,9 = 415,9 \text{ грн/га} . \quad (2.21)$$

Відрахування на ремонт та технічні обслуговування:

- енергозасіб:

$$S_{mo} = \frac{(a_{np} + a_{mo}) \cdot B \cdot 7}{T_p \cdot 100 \cdot W_z} = \frac{1,4 \cdot 350000 \cdot 7}{1000 \cdot 100 \cdot 3,7} = 9,27 \text{ грн/га} . \quad (2.22)$$

- розкидач добрив:

$$S_{mom} = \frac{9,0 \cdot 75000 \cdot 7}{200 \cdot 100 \cdot 3,7} = 63,85 \text{ грн/га} ,$$

де $a_{np} + a_{mo} = 1,4\%$ для енергозасобу, $a_{np} + a_{mo} = 9\%$ для розкидача добрив.

Загальні витрати на поточні ремонти та технічні обслуговування:

$$\sum S_{mo} = S_{mo} + S_{mom} = 9,27 + 63,85 = 73,12 \text{ грн/га.} \quad (2.23)$$

Вартість палива та мастила:

$$S_{nm} = C \cdot G = 95 \cdot 5,08 = 482,6 \text{ грн/га,} \quad (2.24)$$

де $C=95$ грн/кг.

Заробітна плата механізаторам:

$$S_{zn} = \frac{(f \cdot m \cdot 1,044 \cdot 1,0455)}{W_z} = \frac{(160,84 \cdot 1 \cdot 1,044 \cdot 1,0455)}{3,7} = 47,45 \text{ грн/га,} \quad (2.25)$$

де $f=160,84$ грн.

Собівартість обробітку гектара поля (2.19):

$$S_0 = 415,9 + 73,12 + 482,6 + 47,45 = 1019,07 \text{ грн/га.}$$

3. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

3.1. Обґрунтування режимів роботи розкидного пристрою

У розкидачі органічних добрив транспортер призначений для подачі технологічного матеріалу до розкидального пристрою, а при використанні агрегату як транспортного засобу - для вивантаження вантажу.

Обґрунтуємо режим роботи транспортера.

Органічні добрива Q_c (кг/с), що подаються транспортером за одиницю часу, кількісно визначається за такою залежністю:

$$Q_c = \rho \cdot V_{cp} \cdot b_{mp} \cdot h, \quad (3.1)$$

Кількість органічних добрив також можна знайти за формулою:

$$Q_c = 10^{-4} \cdot Q \cdot b_p \cdot V_m, \quad (3.2)$$

Розв'язавши ці дві формули відносно $V_{тр}$, отримаємо:

$$V_{тр} = \frac{10^{-4} \cdot Q \cdot b_p}{\rho \cdot b_{тр} \cdot h} \quad (3.3)$$

Наведена залежність дає можливість визначити необхідну швидкість руху транспортера залежно від швидкості V_m переміщення машини норми внесення органічних добрив Q та товщини шару матеріалу h , розміщеного в кузові агрегату.

Вихідні дані: $Q = 40 \cdot 10^3$ кг/га; $b_p = 6$ м;
 $V_m = 2$ м/с; $\rho = 600$ кг/м³;
 $b_{тр} = 0,78$ м; $h = 0,45$ м.

Тоді

$$V_{TP} = \frac{10^{-4} \cdot 40 \cdot 10^3 \cdot 6 \cdot 2}{600 \cdot 0,78 \cdot 0,45} = 0,2 \text{ м/с.}$$

З урахуванням умови, що потік добрив повинен розподілятися на відстані l_x від задньої стінки машини, необхідну кутову швидкість обертання барабана визначаємо за такою залежністю:

$$\omega = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{2l_x \cdot g}{\sin 2\alpha}}, \quad (3.4)$$

де $r=0,76$ м.

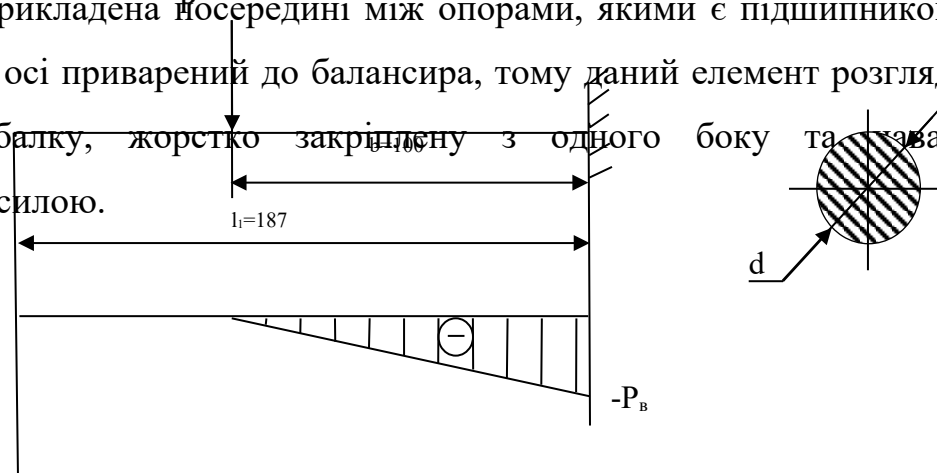
$$\omega = \frac{1}{0,76} \sqrt{\frac{2 \cdot 0,68 \cdot 9,8}{\sin 40^\circ}} = 0,76 \text{ с}^{-1}.$$

Отже, оптимальне значення кутової швидкості барабана розкидача повинна бути $0,76 \text{ с}^{-1}$.

3.2. Розрахунок необертової осі колісної пари

Визначимо діаметр осі колісної пари. Для проведення розрахунків приймаємо максимальне навантаження, що діє на вісь, $P = 21950$ Н, а довжину осі - $l = 97$ мм.

Для розрахунку осі складаємо розрахункову схему (рис. 3.1). Приймаємо, що сила P прикладена посередині між опорами, якими є підшипникові вузли. Один кінець осі приварений до балансира, тому даний елемент розглядаємо як консольну балку, жорстко закріплену з одного боку та навантажену зовнішньою силою.



Епюра $M_{зг}$

Рисунок 3.1 – Схема до розрахунку осі колісної пари

На відрізьку I згинний момент рівний 0.

$$M_{згI}=0.$$

На відрізьку II значення згинного моменту буде таким:

$$M_{згII}=-P(x-a).$$

При $x=a$, $M_{згII}=0$;

При $x=b_1$, $M_{згII}=-P \cdot b$.

Максимальне значення згинного моменту буде виникати в місці защемлення консолі.

$$M_{зг} = P \cdot b = 21950 \cdot 0,1 = 2195 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (3.5)$$

В якості матеріалу для виготовлення осі приймаємо сталь 35 механічні характеристики якої наступні:

$$\sigma_B = 540 \text{ МПа}; \quad \sigma_T = 320 \text{ МПа}.$$

Визначаємо допустиме напруження згину для пульсуючого циклу навантаження, оскільки під час роботи необхідно враховувати можливі коливання діючих сил.

За табличними даними [10, табл. 39] для сталі 35 приймаємо допустиме напруження при пульсуючому циклі: $[\sigma_p]_к = 950$ МПа.

Далі знайдемо діаметр осі в небезпечному перерізі. Для цього розраховуємо момент опору згину розрахункового перерізу осі.

$$W_{зг} \geq M_n / [\sigma_o]_к. \quad (3.6)$$

Для суцільної осі

$$W_n = \frac{\pi d^3}{32},$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_n}{0,1[\sigma_o]_к}} = \sqrt[3]{\frac{2195}{0,1 \cdot 950}} = 61,4 \text{ мм}. \quad (3.7)$$

Прийmemo $d = 63$ мм.

За результатами уточненого визначення допустимого напруження діаметр осі доцільно дещо збільшити та прийняти $d = 65$ мм.

Після визначення всіх основних розмірів осі необхідно виконати перевірочний розрахунок напруження згину та порівняти отримане значення з допустимим.

$$\sigma_n = \frac{M_n}{0,1d^3} \leq [\sigma_o]_к, \quad (3.8)$$

$$\frac{M_n}{0,1d^3} = \frac{2195}{0,1 \cdot (6,5)^3} = 801 \text{ МПа}.$$

Умова міцності дотримується, так як $801 \text{ МПа} < 950 \text{ МПа}$.

Перевірку осі на жорсткість виконують для відповідних конструктивних схем шляхом визначення максимального прогину, величина якого характеризує рівень деформації елемента під дією навантаження.

$$f_{\max} \leq [f]; \quad (3.9)$$

$$[f] = (0,001-0,003)l,$$

Знайдемо величину максимального прогину осі в площині дії сили P :

$$S_{\max} = \frac{Pl^3}{3EI} = \frac{2195 \cdot 10^3}{3 \cdot 2.1 \cdot 10^7} = 0.3 \text{ мм.} \quad (3.10)$$

Нерухому вісь, при зміні напруження за пульсуючим циклом навантаження, розраховують на витривалість відповідно до такої залежності:

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_a \left(\frac{k_\sigma}{\varepsilon\beta} + \psi\sigma \right)} \geq [n], \quad (3.11)$$

де

$$\begin{aligned} \sigma_{-1} &= (0,1-0,45) \sigma_\beta = 216-243 \text{ МПа}; & \sigma_a &= \sigma_H = -950 \text{ МПа}; \\ k_\sigma &= 1,1; & \varepsilon &= 0,78; & \beta &= 1; & \Psi_\delta &= 0,05. \end{aligned}$$

$$n = \frac{2400}{950 \cdot \left(\frac{1,1}{0,78 \cdot 1} + 0,05 \right)} = 1,8.$$

Допустимий коефіцієнт запасу втомної міцності $[n]$ приймають залежно від призначення осі в межах $[n]=1,5-2,5$.

Враховуючи зазначені умови, визначений раніше діаметр осі в небезпечному перерізі $d=65$ мм, отриманий за результатами розрахунку на статичну міцність, забезпечує також необхідний рівень витривалості конструкції.

3.3. Розрахунок осі балансира

Знайдемо необхідний діаметр осі балансирів.

Навантаження, яке сприймає дана вісь складає $P=43900$ Н, відстань між опорами на які встановлюють вісь $l=248$ мм. Довжина осі, яка сприймає навантаження становить $a=107$ мм.

Для осі балансира складемо розрахункову схему (рис. 3.2).

Приймаємо, що центр опор розташований посередині осі, а саму вісь розглядаємо як балку на двох опорах із відповідним прольотом між ними.

Навантаження, яке передається на вісь через балансир, приймаємо рівномірно розподіленим по довжині осі $a=107$ мм з інтенсивністю $q=410$ Н/мм.

Навантаження на вісь, яку є рівномірно розподіленим, замінимо зосередженою силою:

$$P=q \cdot a=410 \cdot 107=43930 \text{ Н.}$$

Визначаємо опорні реакції з урахуванням того, що опори розташовані симетрично відносно прикладеного навантаження. Після цього будемо епюру згинального моменту для встановлення найбільш навантаженого перерізу осі.

$$R_A = R_B = \frac{P}{2} = \frac{43900}{2} = 21950 \text{ Н.}$$

Розбивши балку на відрізки, знаходимо згинні моменти.

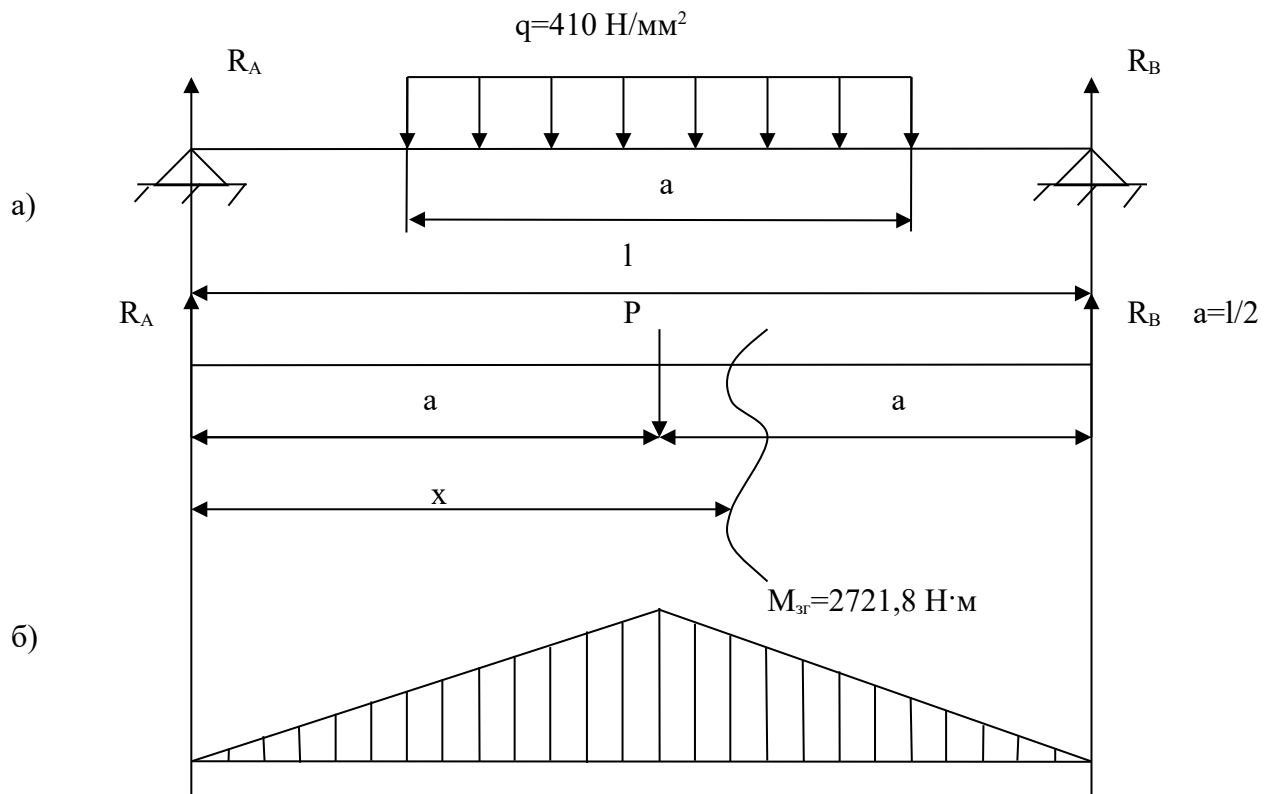


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема осі балансира

Згинний момент на відрізку I:

$$M_{зг I} = R_A \cdot x$$

При x_0 $M_{зг I} = 0$;

$x = a$ $M_{зг I} = 2721,8 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Згинний момент на відрізку II:

$$M_{зг II} = R_A \cdot a - P(x - a)$$

При $x = a$ $M_{зг II} = 2721,8 \text{ Н}\cdot\text{м}$;

$x = 2a = l$ $M_{зг II} = 0$.

Максимальне значення згинного моменту

$$M_{зг}=2721,8 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

В якості матеріалу для виготовлення осі приймаємо сталь 35 з механічними характеристиками: $\sigma_B=540$ МПа; $\sigma_T=320$ МПа.

Визначаємо допустиме значення напруження згину для пульсуючого циклу навантаження, оскільки під час експлуатації осі необхідно враховувати можливі коливання навантаження та змінний характер дії сил.

$$[\sigma_{-1}]_H=550 \text{ МПа.}$$

Для визначення діаметра осі в небезпечному перерізі знайдемо момент опору згину перерізу осі

$$W_{п} \geq M_{зг} / [\sigma_{-1}]_H.$$

У випадку суцільної осі $W_{п} = \frac{\pi d^3}{32} \approx 0,1 d^3$.

Звідси діаметр суцільної осі рівний:

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{зг \max}}{0,1[\sigma_{-1}]_H}} = \sqrt[3]{\frac{2721,8}{0,1 \cdot 550}} = 79 \text{ мм.} \quad (3.12)$$

Прийmemo $d=80$ мм.

Проводимо перевірковий розрахунок напружень згину та порівнюємо їх з допустимими.

$$\sigma_{-1n} = \frac{M_{3r}}{0,1d^3} \leq [\sigma_{-1}]_n \quad (3.13)$$

$$\sigma_{-1n} = \frac{27218}{0,1 \cdot 8^3} = 532 \text{ МПа} < [\sigma_{-1}]_n = 550 \text{ МПа.}$$

Знайдемо максимальний прогин осі, з метою перевірки на жорсткість.

Умова жорсткості

$$f_{\max} \leq [f];$$

$$[f] = (0,001 - 0,003)l,$$

де $l = 248$.

$$[f] = 0,002 \cdot 248 = 0,49 \text{ мм.}$$

Максимальний прогин осі в площині дії сили P:

$$f_{\max} = \frac{Pl^3}{48 \cdot EI} = \frac{4390 \cdot 15625}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 201} = 0,0033 \text{ см}, \quad (3.14)$$

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 4096}{64} = 201 \text{ см}^4.$$

Умова жорсткості дотримана, оскільки $f_{\max} < [f]$

$$0,033 < 0,49 \text{ (мм)}$$

Розрахунок осі на витривалість.

Напруження в обертовій осі змінюється по симетричному циклу.

Отже:

$$n = \frac{\sigma_{-1} \cdot \varepsilon \cdot \beta}{\sigma_a k_\sigma} \geq [n], \quad (3.15)$$

де

$$\begin{aligned} \sigma_{-1} &= (0,4-0,45) \cdot \sigma_B = 216-243 \text{ МПа}; & \sigma_a &= \sigma_{-1n} = 550 \text{ МПа}, \\ k_\sigma &= 1,1 & \varepsilon &= 0,70 & \beta &= 1. \end{aligned}$$

$$n = \frac{0,7 \cdot 1 \cdot 2300}{550 \cdot 1,10} = 2,6.$$

Допустимий коефіцієнт запасу міцності знаходиться в межах $[n]=1,5-2,5$.

Умова дотримана: $2,6 > 1,5-2,5$.

Враховуючи наведені умови, прийнятий раніше діаметр осі в небезпечному перерізі $d=80$ мм, визначений за результатами розрахунку на статичну міцність, забезпечує також необхідний запас витривалості конструкції.

3.4. Розрахунок підшипників ковзання

В якості опор обертових осей виступають підшипники. Залежно від виду тертя, що виникає в процесі їх роботи, розрізняють підшипники ковзання та підшипники кочення. У підшипниках ковзання опорна поверхня осі переміщується по робочій поверхні підшипника, тоді як у підшипниках кочення тертя зменшується завдяки використанню кульок або роликів між контактними поверхнями.

Для даної конструкції обираємо підшипники ковзання з режимом рідинного тертя, оскільки такий режим забезпечує підвищену зносостійкість, зменшує ймовірність заїдання осі та сприяє досягненню високого коефіцієнта корисної дії підшипникового вузла.

Для забезпечення рідинного тертя застосовують підшипники з гідродинамічним змащуванням.

Розрахунок підшипника ковзання з рідинним тертям виконуємо за такими вихідними даними:

– діаметр цапфи осі $d=50$ мм;

– радіальне навантаження на підшипник $P=21950$ Н.

В якості матеріалу для вкладиша підшипника виступає поліамід ливарний 610 згідно ГОСТ 10589-73.

Для розрахунку довжини вкладиша підшипника l прийmemo

$$\varphi=l/d=1,2. \quad (3.16)$$

Звідки довжина цапфи

$$l=\varphi \cdot d=1.2 \cdot 50=60 \text{ мм.}$$

Перевірка підшипника за серійним тиском

$$P_c = \frac{P}{d \cdot l} = \frac{21950}{5 \cdot 6} = 730 \text{ МПа,} \quad (3.17)$$

що є допустимим.

Так як підшипник не працює в умовах обертального руху, швидкість ковзання, тобто колова швидкість цапфи, дорівнюватиме нулю.

Проведемо розрахунок підшипника на рідинне тертя.

Відносний зазор в підшипнику прийmemo $\psi=0,004$.

Знайдемо значення гідродинамічної вантажопідйомності підшипника за товщини мастильного шару $h_o=8$ мкм.

Масштабний параметр знайдемо із залежності:

$$B_1 = r \cdot \sqrt{\frac{2h_o}{\psi_r}} = 25 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 8 \cdot 10^{-6}}{0.004 \cdot 25 \cdot 10^3}} = 10 \cdot 10^{-3}, \quad (3.18)$$

де $h_o = (1 \div 1,4)h_{\min} = 8$ мм.

Гідродинамічний параметр

$$C_1 = \frac{\psi_r}{h_o} - 1 = \frac{0.004 \cdot 25 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot 10^{-6}} - 1 = 11,5. \quad (3.19)$$

Величина основного параметру режиму

$$\beta = \frac{6\mu_o v_r}{h_o^2} \cdot \sqrt{\frac{2h_o}{\psi_r}}. \quad (3.20)$$

Врахувавши, що $\beta = 6,4 \cdot 10^6$ кг/м², а $E = 17 \cdot 10^7$ кг/м², отримаємо:

$$C = \frac{\delta \cdot \beta}{h_o \cdot E} = \frac{7 \cdot 10^{-3} \cdot 6,4 \cdot 10^6}{17 \cdot 10^7 \cdot 8 \cdot 10^{-6}} = 32,9, \quad (3.21)$$

де $\delta = 7$ мм.

Згідно отриманих значень C і C_1 з відповідного графіка [13] знайдемо $P = 1,01$, яке витримує підшипник.

Величина загального навантаження

$$P_1 = 6,4 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 1,01 \cdot 60 \cdot 10^{-3} = 24960 \text{ Н.}$$

Розрахуємо товщину мастильного шару. Для цього знаходимо значення параметрів I_1 і I_2 .

$$I_1 = \frac{6\sqrt{2}\delta\mu_0 v}{E\psi^3 r^2} = \frac{6\sqrt{2} \cdot 7 \cdot 10^{-3} \cdot 0,0016}{17 \cdot 10^7 \cdot 0,004^3 \cdot 25^2 \cdot 10^{-6}} \approx 0,02;$$

$$I_2 = \frac{P_1 \psi^2}{12\mu_0 vL} = \frac{2496 \cdot 0,004^2}{12 \cdot 0,0016 \cdot 60 \cdot 10^{-3}} \approx 5,38. \quad (3.22)$$

З відповідного графіка [13] знайдемо $I_3=14$. Тоді товщина мастильного шару:

$$h_o = \sqrt[3]{\left(\frac{P_1 \cdot \delta}{E \cdot I_3 \cdot l}\right)^2 \cdot \frac{\psi}{2r}} = \sqrt[3]{\left(\frac{2496 \cdot 7 \cdot 10^{-3}}{17 \cdot 10^7 \cdot 60 \cdot 10^{-3} \cdot 14}\right)^2 \cdot \frac{0,004}{2 \cdot 25 \cdot 10^{-3}}} = 2,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}. \quad (3.33)$$

Визначимо середню в'язкість мастила:

$$\mu_0 = \frac{P_1 \cdot h_o \cdot \psi}{12 \cdot v_r \cdot l \cdot P} \quad (3.34)$$

$$\mu_0 = \frac{2496 \cdot 2,6 \cdot 10^{-6} \cdot 0,004}{12 \cdot 25 \cdot 10^{-3} \cdot 60 \cdot 10^{-3} \cdot 1,01} = 0,0024 \text{ сек/м}^2.$$

Згідно графіку залежності в'язкості мастила знайдемо середню температуру мастила, яка складатиме $t=43^\circ\text{C}$.

Вибираємо мастило індустріальне 22.

3.5. Розробка конструкції складальних одиниць

Конструювання ходової системи розкидача

Об'єктом розробки є ходова система розкидача органічних добрив. Ходова система виконана у вигляді безресорного балансируного візка та включає два балансири, а також ліве і праве колеса.

Балансири конструктивно виконані у вигляді балок коробчастого типу зварної конструкції прямокутного перерізу з привареними осями коліс.

Ступиця, оснащена двома конічними роликowymi підшипниками, встановлюється на вісь колеса та фіксується гайкою зі штифтом, стопорною шайбою та контргайкою.

До ступиці за допомогою шпильок і гайок кріпиться дискове колесо, обладнане камерною шиною низького тиску 16,5L–18HC6 моделі Ф316. Внутрішня порожнина ступиці та простір між роликами підшипників заповнюються консистентним мастильним матеріалом.

Для захисту внутрішніх порожнин від потрапляння забруднень із зовнішнього боку встановлюється захисна кришка, а з внутрішнього — манжетне ущільнення. Усередині кожного колеса передбачено розміщення колісного гальмівного механізму.

Вузол осі балансира включає вісь, корпуси балансирів, втулки, що виконують функцію підшипників ковзання, кришки та ущільнювальні манжети.

Осі балансирів встановлюються на підшипниках ковзання, забезпечують копіювання колесами нерівностей поверхні ґрунту під час руху агрегату та виконують функцію кріплення ходової системи до рами машини.

Підшипник ковзання конструктивно реалізований у вигляді втулок, запресованих у корпус балансирів. Змащування вузлів тертя здійснюється рідким мастильним матеріалом трансмісійного типу, який через кільцеві канавки, виконані на поверхні втулок, рівномірно розподіляється між контактуючими поверхнями.

Конструювання осі колеса

Конструкція осі визначається переважно типом деталей, які на ній встановлюються, а також схемою розміщення опор (рис. 3.3).

Для встановлення підшипникових вузлів на осі передбачені циліндричні посадкові поверхні. Осьова фіксація підшипників забезпечується конструктивно виконаними буртиками. На кінцевій ділянці осі передбачено різьбовий відрізок, призначений для встановлення та нагвинчування кріпильної гайки.

Під час проектування конструкції осі також враховуються вимоги технологічності механічної обробки та складання, забезпечення необхідної втомної міцності конструкції, а також раціонального використання матеріалу.

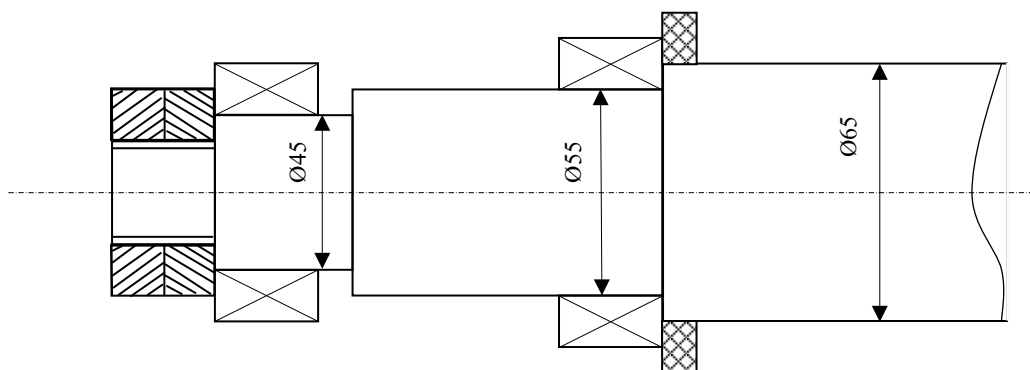


Рисунок 3.3 - Схема до визначення параметрів осі колеса

Враховуючи результати розрахунків осі на міцність і жорсткість за дією згинальних моментів, визначено діаметр осі в небезпечному перерізі. Найбільш навантаженим перерізом у даному вузлі є зона приварювання осі до балансира. У цьому місці прийнято діаметр осі $d=65$ мм.

Зазначений діаметр є максимальним конструктивним розміром осі. Для формування буртика, необхідного для правильного встановлення та осьової фіксації підшипника, визначаємо орієнтовне значення діаметра осі під перший підшипниковий вузол.

$$d_{n1}=65 \cdot (0,9 \div 1,0)=58,5 \text{ мм.}$$

Після визначення основних геометричних параметрів осі здійснюємо вибір типу підшипника. При виборі підшипникового вузла насамперед враховують величину та напрямок навантаження, що діє на опору, геометричні параметри посадкових поверхонь осі та корпусу, жорсткість підшипника, а також економічні показники його використання.

Оскільки на дану опору діють одночасно радіальні та осьові навантаження, для конструкції обираємо конічні роликові підшипники типу 7511 згідно з ГОСТ 333–71. Діаметр внутрішнього кільця вибраного підшипника становить $d_n=55$ мм, тому діаметр осі в зоні встановлення першого підшипника приймаємо рівним 55 мм.

Наступний конструктивний буртик для встановлення другого підшипника формують шляхом зменшення діаметра осі до необхідного значення.

$$d_{n2}=55 \cdot (0,9 \div 1,0)=49,5 \text{ мм.}$$

Для другого підшипникового вузла обираємо конічний роликовий підшипник 7509 відповідно до ГОСТ 333–71. Діаметр внутрішнього кільця вибраного підшипника становить $d_{n2}=45$ мм, тому діаметр осі в зоні посадки другого підшипника приймаємо рівним 45 мм.

Для запобігання осьовому зміщенню підшипників на кінцевій частині осі передбачаємо встановлення двох круглих гайок згідно з ГОСТ 11871–88, які фіксуються від самовідгвинчування стопорною шайбою відповідно до ГОСТ 8725–76, розміщеною між гайками.

Для монтажу гайок на осі передбачено різьбову ділянку, а для встановлення внутрішнього вусика стопорної шайби виконано спеціальний паз.

З метою полегшення монтажу та демонтажу деталей, а також підвищення безпечності виконання складальних операцій торцеві поверхні осі виконуються з фасками.

Конструювання осі балансира

На даній осі встановлюється балансір, при цьому сама вісь закріплюється в опорах ковзання. Найбільше значення згинального моменту виникає в середній частині осі, тому визначення її діаметра здійснюється за найбільшим згинальним моментом. За результатами розрахунків приймаємо діаметр осі $d=80$ мм.

Ділянки осі, які взаємодіють з опорними елементами, називають шипами,

якщо вони розташовані на кінцевих частинах осі.

Діаметр шипа знайдемо згідно залежності:

$$d = \sqrt{\frac{P \cdot \varphi}{0.2 \cdot [\sigma_{-1}]}} = \sqrt{\frac{2195 \cdot 1.0}{0.2 \cdot 550}} = 47 \text{ мм.} \quad (3.35)$$

Прийmemo $d = 50$ мм.

Діаметр осі під підшипники ковзання прийmemo $d = 50$ мм.

На осі передбачаемо місце під манжету $d_m = 0,9d = 0,9 \cdot 80 = 72$ мм.

Вибираемо манжету $1,2 \times 65 \times 9$ згідно ГОСТ 8752-72.

Уточнене значення діаметра осі під манжету $d_m = 65$ мм.

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1. Виникнення травмонебезпечних ситуацій при внесенні органічних добрив розкидачами

Кожний небезпечний виробничий фактор незалежно від його виду, рівня та інших властивостей має певну зону своєї дії. Якщо розміри цієї зони мають чітко фіксовані значення, то її можна вважати постійною. Якщо в процесі роботи така зона може змінюватися внаслідок зміни рівня небезпечного фактора, його переміщень у просторі, то вона буде змінною.

У деяких випадках (аварійна ситуація) небезпечний виробничий фактор може значно виходити за межі визначеної (фіксованої) зони. При цьому небезпека травмування працюючого виникає уже за межами небезпечної зони, що була встановлена заздалегідь. Ось чому кожний працюючий на конкретній машині чи на певному робочому місці завжди повинен добре знати про таку небезпеку.

Під час внесення органічних добрив постійні небезпечні зони виникають в процесі агрегування машин з трактором, їх регулювання, технічному обслуговуванні трактора і розкидача тощо.

У процесі роботи внаслідок порушення нормативних вимог охорони праці, допущення помилок, виникає можливість потрапляння людини в небезпечну зону. Дія, внаслідок якої людина потрапляє до небезпечної зони, вважається небезпечною. Під час внесення органічних добрив попадання в небезпечну зону може бути внаслідок відсутності попереджувальних знаків небезпечних місць, відсутності страхувальних ланцюгів, несправностям гідравлічної системи, порушення відповідних правил експлуатації машинно-тракторного агрегату (регулювання с.г. машини при працюючому двигуні трактора, ліквідація забивання робочих органів на ходу, використання несправних розкидачів тощо).

Робота МТА може супроводжуватися небезпечними умовами, яка визначається недоліками конструкцій машин, технологічного обладнання, низьким рівнем організації праці.

Вищенаведені явища, що формують небезпечну, ситуацію мають певну достовірність виникнення, а це означає, що небезпечні умови (НУ), небезпечні дії (НД), небезпечні ситуації (НС) і їх наслідки - аварія (А), травма (Т) належать до випадкових явищ. Виявити їх завчасно і попередити ці наслідки вдається не завжди.

У зв'язку з цим необхідно моделювати процеси формування, виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків, і на підставі їхнього аналізу попереджувати існуючі і потенційні небезпеки.

Моделювання процесів формування та виникнення травмонебезпечних ситуацій під час внесення органічних добрив машинно-тракторним агрегатом у складі трактора Беларус 1221 та розкидача РОУ-6 та визначення заходів з їх запобігання наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Моделювання процесів формування та виникнення травмонебезпечних ситуацій під час внесення органічних добрив

Вид робіт, склад агрегату	Виробнича безпека			Можливі наслідки	Заходи запобігання небезпечним ситуаціям
	Небезпечна умова (НУ)	Небезпечна дія (НД)	Небезпечна ситуація (НС)		
Внесення органічних добрив (Беларус 1221 +РОУ-6)	На полі можуть знаходитись сторонні предмети (каміння, деревина) НУ ₁	Під час маневру трактор наїжджає на сторонній предмет НД	Сторонні предмети на полі потрапляють під керовані колеса НС ₁ , відбувається зміна траєкторії руху НС ₂ , викидання добрив в сторону кабіни і можливе її руйнування НС ₃ .	Травма	Поле повинно бути очищене від сторонніх предметів. Небезпечні місця повинні бути позначені вішками.
Модель процесу НУ ₁ →НД→НС ₁ →НС ₂ →НС ₃ →Т					

Кінець таблиці 4.1

	Навісна машина не має пристрою для її фіксування в піднятому положенні НУ ₁ . Можлива технічна несправність гідросистеми НУ ₂ .	Під час ТО с.г. машини працюючий знаходиться під машиною, піднятою гідросистемою НД ₁ .	Можливе самовільне опускання с.г. машини НС ₄	Травма	Важелі гідросистеми трактора повинні мати блокувальний пристрій для запобігання самовільному опусканню начіпної машини
	Модель процесу НУ ₂ → НД ₁ → НС ₄ → Т				
	З'єднання трактора з машиною здійснюється ручними операціями НУ ₃ і з залученням допоміжного працівника НУ ₄	Під час агрегування працівник знаходиться між трактором і машиною НД ₂	Можливий наїзд на допоміжного працівника НС ₅	Аварія. Травма допоміжного працівника	Трактор повинен мати спеціальний пристрій для автоматичного агрегування причіпних машин
	Модель процесу НУ ₃ → НД ₂ → НС ₅ → Т НУ ₄ → ↑				

4.2. Охорона праці при виконанні механізованих робіт із внесення органічних добрив

Вся сільськогосподарська техніка, що застосовується на внесенні органічних добрив повинна бути справною і повністю укомплектованою набором інструментів, засобами індивідуального захисту та засобами для обслуговування та аптечкою першої медичної допомоги. Агрегати повинні оснащуватись захисними кожухами для уникнення травматизму серед обслуговуючого персоналу.

Під час технічного обслуговування машин у польових умовах за охорону праці відповідає механізатор, що обслуговує даний агрегат; він інструктується із всіх виконуваних ним робіт, а також отримує інструктаж з пожежної безпеки.

Технічне обслуговування машин проводиться тільки у світловий час доби. Всі операції технологічного обслуговування, крім регулювання двигуна, виконуються після повної його зупинки. Перед тим, як виконувати роботу під машиною, її потрібно загальмувати, зупинити двигун, увімкнути одну з передач і підкласти під колеса колодки-упори. Виконуючи роботу під машиною, потрібно використовувати утеплювальні коврики. У випадку необхідності обслуговування в піднятому положенні машина повинна фіксуватись надійними підставками або підвісами, щоб запобігти самовільному опусканню чи падінню машини. Забороняється використовувати для підставок випадкові речі, оскільки вони не відповідають технічним нормативам охорони праці.

Особливу увагу необхідно звернути на безпечне використання тракторів. Робочим місцем на тракторі є кабіна, в якій розміщене сидіння, органи керування і контролю. Кабіна має захисний каркас, що не деформується при перекиданні. Сидіння має бути обладнане пасом безпеки, що запобігає важким травмам механізаторів. Для поліпшення огляду при керуванні агрегатом кабіна має велику площу застакнення. Також встановлені додаткові вікна у нижній частині передньої стінки кабіни для спостереження за точністю руху коліс.

Кабіна має бути обладнана торсійним сидінням з гідроамортизатором, аптечкою, термосом для питної води, склоочисниками, притискним козирком і дзеркалом заднього виду.

Компоновка органів керування повинна відповідати послідовності робочих операцій і частоті користування ними, важелі мають переміщуватись без великих зусиль. Педалі повинні мати підсилювачі.

Кабіна трактора повинна бути повністю герметичною, що запобігає попаданню пилу та неприємних запахів, це є суттєвим під час виконання операцій внесення органічних добрив.

Особливо безпечних умов необхідно дотримуватись при навішуванні с.г.

машин, особливо навісних, на навіски автозчипки. При цьому слід користуватись допомогою допоміжних працівників. Роботу можна розпочинати тільки при надійній фіксації машин на навісці.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Основною метою даної кваліфікаційної роботи є підвищення надійності розкидача органічних добрив РОУ-6 шляхом удосконалення його ходової системи за рахунок розробки конструкції осей колісних пар та осей кріплення балансира до рами.

У процесі виконання кваліфікаційної роботи:

- проведено аналіз сучасних технологій внесення органічних добрив;
- здійснено огляд сучасних технічних засобів для внесення органічних добрив;
- обґрунтовано експлуатаційні характеристики розкидача органічних добрив РОУ-6, розглянуто його конструктивні особливості та технологічний процес роботи;
- виконано розрахунки техніко-експлуатаційних показників функціонування агрегату, зокрема розглянуто питання комплектування машинно-тракторного агрегату для внесення органічних добрив;
- проведено розрахунки режимів роботи агрегату та визначено експлуатаційні витрати на виконання технологічного процесу внесення органічних добрив;
- запропоновано конструктивне вдосконалення ходової системи розкидача РОУ-6 шляхом модернізації балансирного візка, що сприятиме підвищенню надійності роботи машини.

У проектній частині роботи:

- виконано обґрунтування режимів роботи розкидального механізму;
- проведено розрахунки необертової осі колісної пари та осі балансира;
- здійснено вибір підшипників ковзання;
- виконано конструювання елементів ходової системи розкидача, зокрема осі колеса та осі балансира.

У кваліфікаційній роботі також розглянуто питання охорони праці та заходи безпеки під час експлуатації технічних засобів, призначених для внесення органічних добрив.

Запропоновані технічні рішення дозволяють підвищити надійність роботи розкидача органічних добрив РОУ-6 та зменшити матеріаломісткість його ходової системи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Березівський П.С., Більський Б.В., Дудаш Я.Я., Андрушко М.І. Організація і планування виробництва в аграрних формуваннях Львівщини. Львів: Укр. технології, 2000. 218 с.
2. Бондаренко М.Г., Демещук В.А. Комплектування машинно-тракторного парку в рослинництві. К.: Вища школа, 1995. 237 с.
3. Білоконь Я.Ю. Трактори та автомобілі / Я.Ю. Білоконь, А.І. Окоча, С.О. Войцехівський. К.: Вища освіта, 2003. 560с
4. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: Навчальний посібник / За ред. Д.Г. Войтюк, С.С. Яцун, Довжик М.Я. Суми: Університетська книга, 2008. 450 с.
5. Гречкосій В.Д. Довідник сільського інженера. Київ, «Урожай», 1988. 354 с.
6. Довбуш Т.А. Методи проектування сільськогосподарських машин: навчально-методичний посібник до курсового проектування /Т.А. Довбуш, Н.І. Хомик, А.Д. Довбуш. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2019. 72 с.
7. Довідник з експлуатації МТП/ Ільченко В.Ю., Карасьов П.І., Пітонт А.С., та ін. К.: Урожай, 1987. 368с.
8. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві/ В.Ю. Ільченко, П.І. Карасьов, А.С. Лімот та ін.; За ред. В.Ю. Ільченка. К.: Урожай, 1993. 288с.
9. Лапін В.М. Безпека життєдіяльності людини. / В.М. Лапін. – Львів: ЛБК НБУ. Київ: Знання, 2000. 188 с.
10. Машиновикористання в землеробстві/ В.Ю. Ільченко, Ю.П. Нагірний, П.А. Джолос та ін.; За ред. В.Ю. Ільченка та Ю.П. Нагірного. К.: Урожай, 1996. 384с.
11. Муха В.П. Трактори «Беларус», ЮМЗ-6КЛ и ЮМЗ-6КМ. Технічний опис і інструкція з експлуатації. Дніпропетровськ, 1989. 303 с.

- 12.Олексюк В.П. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія» / Олексюк В.П., Сташків М.Я. Тернопіль: ТНТУ ім. І Пулюя, 2022. 47 с.
- 13.Охорона праці в сільському господарстві [Електронний ресурс]: Режим доступу вільний: http://ipal.at.ua/publ/okhorona_praci/mozhlivi
- 14.Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. /В.Т. Павлище. К.: Вища школа, 1993. 556 с.
- 15.Хомик Н.І. Основи агрономії: навчальний посібник (курс лекцій) / Н. І. Хомик, Г. Б. Цьонь, Т. А. Довбуш, В. П. Олексюк. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2021. 232 с.
- 16.Гевко Р. Б., Ткаченко І. Г., Павх І. І. Машини сільськогосподарського виробництва. Тернопіль, 2005. 228 с.
- 17.Енергетичні засоби сільськогосподарського виробництва. Методичні вказівки до виконання розрахункових робіт для студентів денної та заочної форм здобуття освіти за освітньо-професійною програмою 208 «Агроінженерія» / Олексюк В.П., Сташків М.Я. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2023. 31 с.
- 18.Nevko R., Stashkiv M., Lyashuk O., Vovk Y., Oleksyuk V., Tson O., Bortnyk I. Investigation of internal efforts in the components of the crop sprayer boom section. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. Volume 105, Issue 1 (2021), 33 – 41.
- 19.Roman Nevko; Yurii Nykerui; Taras Dovbush; Vasyl Oleksyuk. Substantiation of constructive parameters of a frame structure elements of the rope mechanism transport system for storing piece loadings into small warehouses. Scientific Journal of TNTU. Tern.: TNTU, 2020. Vol 100. No 4. P. 62–74.

ДОДАТКИ