

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ДЕДКІВСЬКИЙ АРТУР ВІТАЛІЙОВИЧ

УДК 631.3.03

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВНЕСЕННЯ
МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ З МОДЕРНІЗАЦІЄЮ ВІДЦЕНТРОВОГО
РОЗКИДАЧА**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

Кваліфікаційна робота містить результати власних розробок. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ А. В. Дедківський

Керівник роботи

Заєць М. Л.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Дедківський Артур Віталійович. Удосконалення технологічного процесу внесення мінеральних добрив з модернізацією відцентрового розкидача. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття першого освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

У роботі на основі аналогів машин для внесення гранульованих мінеральних добрив, запропоновано удосконалення відцентрового розкидача та операційної технології їх внесення з підвищеною ефективністю по розподілу за площею. Поставлено основне технічне завдання, вихідні параметри для модернізації розкидального пристрою, спроектовано технологічний процес подачі мінеральних добрив на робочі органи машини, виконано математичні розрахунки конструкціо технологічних параметрів, що необхідні для розрахунку технологічного процесу внесення туків.

Виконано синтез прототипів сучасних розкидачів добрив із поверхневим внесенням гранул туків. Спроектовано конструкцію відцентрово-дискового розкидального пристрою зі змінною геометрією та розподілу і внесення гранульованих добрив розкидачем.

Роботою можна керуватись при проектуванні, модернізації або проектуванні нових операційних технологій внесення туків методом поверхневого внесення машин.

Метою роботи є покращення техніко-економічних показників роботи МТА шляхом удосконалення робочих органів машини для внесення мінеральних добрив.

Ключові слова: добрива, відцентровий розкидач, диск, конструкція, поверхневе внесення, операційна технологія.

ABSTRACT

Dedkivskiy Artur. Improvement of the technological process of applying mineral fertilizers with the modernization of the centrifugal spreader. - Qualification work on manuscript rights. *Qualification work for obtaining the first bachelor's degree in specialty 208 Agricultural engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2023.*

In the work based on analogues of machines for applying granular mineral fertilizers, it is proposed to improve the centrifugal spreader and the operational technology of their application with increased efficiency in distribution by area. The main technical task, the initial parameters for the modernization of the spreader stand were set, the technological process of supplying mineral fertilizers to the working parts of the machine was designed, mathematical calculations of the design and technological parameters necessary for the calculation of the technological process of fat application were performed.

The synthesis of prototypes of modern fertilizer spreaders with surface application of fat granules was carried out. The construction of a centrifugal-disc spreading device with variable geometry and the distribution and introduction of granular fertilizers by the spreader was designed.

The work can be guided by the design, modernization or design of new operating technologies for the application of fat by the method of surface application. cars The purpose of the work is to improve the technical and economic performance of the MTA by improving the working bodies of the machine for applying mineral fertilizers.

Key words: fertilizers, centrifugal spreader, disk, design, surface application, operation technology.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ РОЗКИДНИХ ПРИСТРОЇ МАШИН ДЛЯ ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ	
1.1. Аналіз аналогів відцентрово-розкидних дискових апаратів.....	7
Висновки до розділу 1.....	10
2. УДОСКОНАЛЕННЯ ВІДЦЕНТРОВО-ДИСКОВОГО РОЗКИДНОГО АПАРАТУ РОЗКИДАЧА МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ	
2.1. Запропонована модернізація.....	11
2.2. Обґрунтування параметрів запропонованого пристрою.....	11
2.2.1. Розрахунок основних конструктивних і кінематичних параметрів.....	11
2.2.2. Розрахунок дальності польоту частинки.....	13
2.2.3. Розрахунок на міцність кріплення диска.....	16
Висновки до розділу 2.....	18
3. РОЗРАХУНОК ОПЕРАЦІОНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВНЕСЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ	
3.1. Агробіологічні особливості та агротехнічні вимоги.....	19
3.2. Операція технологія виконання операції.....	20
3.3. Розрахунок операцій внесення мінеральних добрив.....	21
Висновки до розділу 3.....	31
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	33
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	34
ДОДАТКИ.....	36

ВСТУП

Актуальність теми. Запропоноване удосконалення процесу внесення мінеральних добрив полягає в підвищенні ефективності його використання завдяки більш рівномірному розподілу по площі. Що дозволить підвищити ймовірність їх засвоєння рослинами та призведе до зростання продуктивності сільськогосподарських культур.

Основною задачею агропромислового комплексу є підвищення врожайності культур шляхом застосування інтенсивних енергоефективних технологічних процесів. Інтенсивна технологія – це комплекс стандартних способів обробітку ґрунту традиційними технологічними засобами з їх взаємодією і чіткою послідовністю виконання. За ціль поставлено отримання високої продуктивності виробництва продукції. Щоб мати змогу застосовувати дані технології необхідно забезпечити комплекс машин, який з високою ефективністю виконає технологічні процеси в стислі агротехнічні терміни, з високою якістю виконання операційних процесів виробництва продукції.

Одним з таких процесів являється процес внесення мінеральних речовин, зокрема гранульованих добрив. Тому в роботі виконано проектування та удосконалення робочих органів розкидача гранул зі змінною геометрією лопаті дисково-відцентрового пристрою.

Доцільність роботи полягає в обґрунтуванні удосконалення і проектуванні робочого органу машини для внесення добрив, що з відповідною рівномірністю розподіляти добрива за шириною захвату машини.

Мета роботи: підвищення ефективності використання добрив та експлуатаційних показників роботи МТА, шляхом удосконалення робочих органів машини для внесення мінеральних добрив.

Завдання проекту:

- виконати аналіз конструкцій аналогів та прототипів існуючих зразків відцентрово-дискових розкидачів туків;

- провести удосконалення робочого органу розкидача та визначити його конструкційно-технологічні параметри;

- визначити якісні техніко-експлуатаційні показники роботи удосконаленої машини для внесення добрив.

Об'єкт удосконалення - технологічний процес суцільного поверхового внесення мінеральних гранульованих добрив.

Предметом обґрунтування є - залежність результатів модернізації на техніко-експлуатаційні параметри роботи МТА для внесення добрив.

Методи використані при виконанні. Проектування виконувались із застосуванням механіко-математичного моделювання, теорії машин і механізмів, числові методи розв'язку задач.

Перелік публікацій автора за темою роботи:

1. Дедківський А. В. Удосконалення дискового розкидного пристрою розкидача мінеральних добрив / А. В. Дедківський, М. Л. Заєць // Зб. тез доп. наук.-практ. конф. I-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 18 січня 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 47-51.

2. Заєць М.Л. Результати визначення дальності польоту частинки мінеральних добрив / М. Л. Заєць, А. В. Дедківський // Зб. Тез IX Всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» 5 квітня 2023 р. Житомир: ЖАТК, 2023. С.37-39.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 13 найменування. Загальний обсяг роботи становить 36 сторінок комп'ютерного тексту, 7 рисунків.

1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ РОЗКИДНИХ ПРИСТРОЇ МАШИН ДЛЯ ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ

1.1. Аналіз аналогів відцентрово-розкидних дискових апаратів

За принципом дії туковисівні апарати машин розділяють на дві групи: тукові сівалки з тарілковими тукорозкидачами і розкидачі з відцентровими апаратами (рис.1.1).[1,2,4, с. 19.]

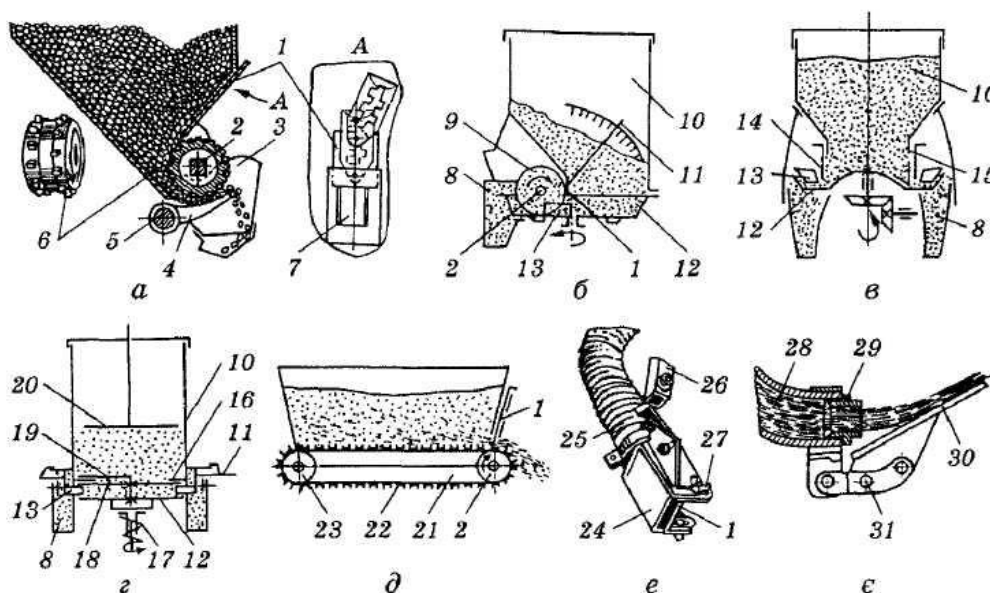


Рис. 1.1. Апарати для внесення добрив:

а — котушково-штифтовий; б — тарілчасто-дисковий; в — тарілчасто-скребковий; г — дисковий; д — конвеєрний; е — пневматичний; е — гідравлічний; 1 — заслінка; 2 — вал; 3 — корпус; 4 — днище; 5 — вал механізму випорожнення; 6 — штифтова котушка; 7 — вікно; 8 — лійка; 9 — дисковий розкидач; 10 — банка; 11 і 26 — важелі; 12 — тарілка (диск); 13 — скребко-напрямляч; 14 — регульовальний циліндр; 15 — ніж; 16 — козирок; 17 — запобіжна муфта; 18 — ворушилка; 19 — палець; 20 — показчик рівня добрив; 21 — конвеєр; 22 — пруток (планка, скребок); 23 — натяжний вал; 24 — наконечник; 25 — рукав; 27 — гайка; 28 — патрубок; 29 — насадка (сопло); 30 — щит-відбивач (дефлектор); 31 — регульовальний вузол

Тукові апарати з тарілковими тукорозкидачами застосовують для дозування мінеральних добрив, при малих дозах висіву та невисокої рівномірності внесення.

Дозу внесення добрив регулюють зміною частоти приводу тарілок та площі зазору між тарілкою та заслінкою за допомогою регулюючого пристрою. [1,2,4, с. 29.]

Основною пролемою розкидачів такої конструкції є неможливість регулювання ширини захвату розкидного пристрою.

Розкидач мінеральних добрив НРУ-5 з висіваючим апаратом відцентрового типу призначені для суцільного розподілу туків по поверхні на полях і в садах мінеральних добрив і їх суміші. [1,2,4, с. 19-26.]

Робочі органи цієї машини дозволяють змінювати ширину захвату агрегату від 6 до 12 метрів в залежності від виду добрив. Проте дане регулювання не пов'язано з конструкцією самих робочих органів, а наслідком скерування їх у відповідну зону диска. [1,2,4, с. 25-28.]

Машини модельного ряду, типу РУМ-5, МВУ-5, 1-РМГ-4 мають встановлений дисково-відцентровий розкидач, який складається з двох горизонтально розміщених дисків з лопатками, які радіально встановлено на верхній площині диска (рис.1.2., 1.3., 1.4.). [4, с. 29.]



Рис. 1.2. Однодисковий відцентровий апарат

Добрива, що подаються на поверхню диска, під дією відцентрової сили, розкидаються в сторони на ширину близько 6 метрів.

Недоліком таких робочих органів є обмежене регулювання ширини захвату та рівномірності розподілу добрив.

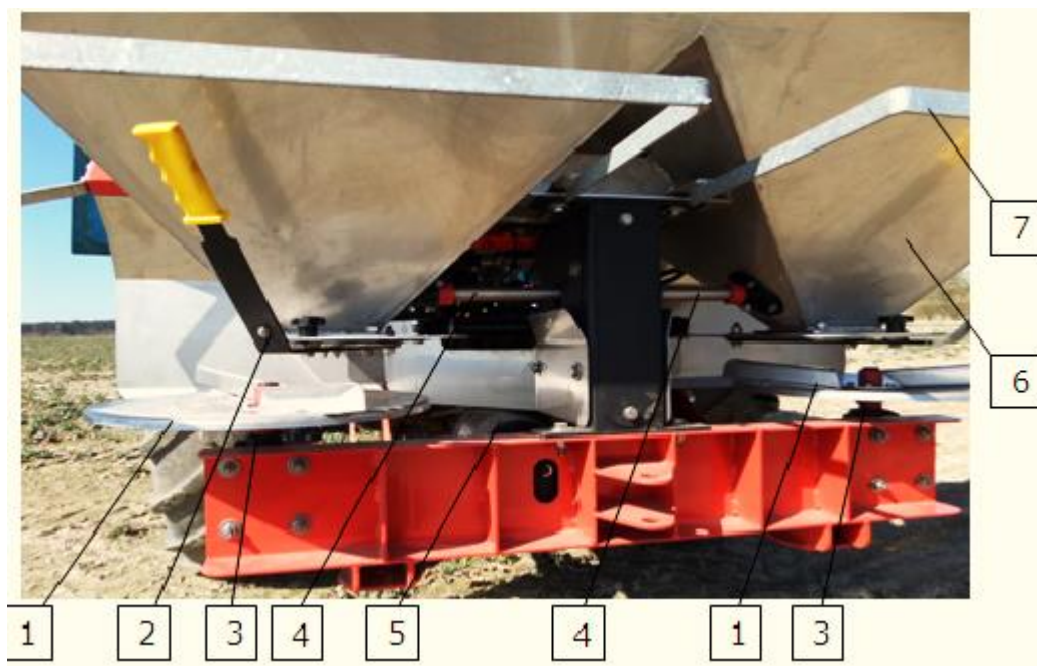


Рис. 1.3. Відцетрово-розкидальний апарат мінеральних добрив машини MASTER (вид позаду та вузли механізму приводу)

1 – розкидні диски; 2 – дозувальний механізм; 3 – кутовий кінцевий редуктор; 4 – вал спірального змішувача; 5 – центральний кінцевий редуктор; 6 – жолоб бункера; 7 – індикатор наповненості бункера добривами

Джерело: <https://yar-step.agrobiz.net/article/view/testuvannya-dvodiskovogo-rozkidacha-mineralnih-dobriv-master-1400-l/>



Рис. 1.4. Розкидач мінеральних добрив з візком РУМ 1000

Основним недопрацюванням дано машини є не можливість регулювати кут встановлення лопаті розкидального диску, та як наслідок впливати на техніко-експлуатаційні показники роботи машини в цілому

Висновки до розділу 1.

У вищезгаданих машинах, крім неможливості регулювання ширини захвату, діаметри дисків приймають від 0,35 до 0,75 метрів. Диски обертаються з частотою в межах 400-600 об/хв. Лопатки, як правило, відхилені в сторону обертання на кут 12-18°, але при цьому жорстко закріплені на диску, що не уможлиблює їх встановлення під різними кутами, під час технологічного процесу.

Важливими параметрами робочих органів, що впливають на ширину захвату машини і рівномірність розподілу добрив є частота обертання і діаметр дисків. Якщо частоту обертання ми можемо регулювати, то діаметр диска залишається постійним.

2. УДОСКОНАЛЕННЯ ВІДЦЕНТРОВО-ДИСКОВОГО РОЗКИДНОГО АПАРАТУ РОЗКИДАЧА МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

2.1. Запропонована модернізація

Удосконалення полягає у створенні відцентрово-дискового робочого органу, який забезпечить регулювання ширини розкидання добрив машиною, при агрегуванні на різних швидкостях, під час внесення різних за об'ємною масою мінеральних добрив.

Для цього на існуючій машині МВУ-5 встановлюємо робочі органи з рухомими лопатками, які мають можливість повертатись на кут 90° . Запропонований пристрій складається з диска, який встановлений на вал, двох лопатей, прикріплених до верхньої площини диска за допомогою болтового кріплення. На лопатях встановлені подовжувачі, які дозволяють збільшувати робочу ширину розподілу добрив, і як результат захват машини до 30 метрів.

2.2. Обґрунтування параметрів запропонованого пристрою

2.2.1. Розрахунок основних конструктивних і кінематичних параметрів

Основними конструкційними параметрами, що необхідно визначити відносяться максимальний і мінімальний радіуси обертання крайньої точки лопаті та максимальна і мінімальна швидкості сходу частинки мінеральних добрив, в залежності від регулювання довжини лопаті і її кут встановлення відносно радіального положення. Що залежать від частоти обертання дисків та координати потрапляння частинки гранул добрив, по сітці координат площини диска. Це досить непроста технічна задача, оскільки вона носить ймовірнісний характер, але з певною точністю нам потрібно її розв'язати.

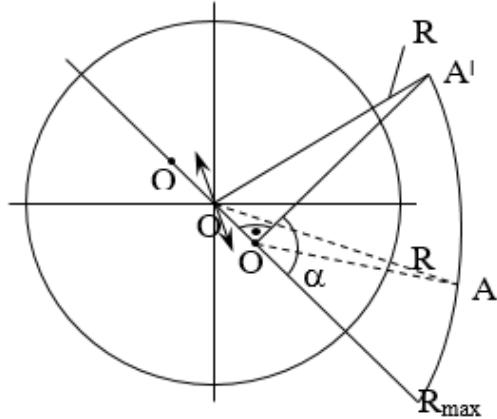


Рис. 2.1. Схема визначення основ конструктивних параметрів удосконаленого диска

Максимальний радіус обертання крайньої точки лопатки (рис 2.1) буде рівний, коли лопатка розташована в радіальному положенні [4]

$$R_{max} = |OO_1| + |O_1A| + \Delta O_1A, \quad (2.1.)$$

де $|OO_1|$ – відстань від центру O обертання диска до т. O_1 кутового зміщення лопатки відносно радіального положення, що характеризується кутом α , м;

$|OA_1|$ – довжина лопатки від т. O_1 до крайньої точки лопатки A ;

ΔO_1A – подовження лопатки за рахунок вигнутої пластинки, м.

В загальному випадку даний радіус є змінний його можна визначити з $\Delta OO_1A''$ за теоремою косинусів

$$R = \sqrt{|OO_1|^2 + (|O_1A| + \Delta O_1A)^2 - 2|OO_1| \cdot (|O_1A| + \Delta O_1A) \cdot \cos(180 - \alpha)}, \quad (2.2)$$

R_{max} отримаємо коли $\alpha=0$ і $\Delta O_1A=\max$

$$R = \sqrt{(|OO_1| + (|O_1A| + \Delta O_1A))^2} = |OO_1| + |O_1A| + \Delta O_1A, \quad (2.3)$$

що ми запропонували попередньо.

Звідки радіус максимальної крайньої точки обертання лопаті залежить від зміни кута α і ΔO_1A .

Нехай $\alpha=0$ і $\Delta O_1A=\max$

$$R_{max} = 80 + 225 + 30 = 335 \text{ мм} = 0,335 \text{ м}.$$

Коли $\alpha=90$ – максимальне відхилення лопатки від радіального положення і $\Delta O_1A=0$

$$R_{min} = \sqrt{|O_1O|^2 + |O_1A|^2}, \quad (2.4)$$

$$R_{min} = \sqrt{80^2 + 225^2} = 238,8 \text{ мм} = 0,239 \text{ м}.$$

Якщо врахувати, що кутова швидкість диска ω є постійною і становить 80 с^{-1} , то тоді максимальну і мінімальну швидкість відриву частинки мінеральних добрив визначаємо за відомими формулами[5]

$$V_{max} = \omega \cdot R_{max}, \quad (2.5)$$

$$V_{max} = 55 \cdot 0,335 = 18,42 \text{ м / с},$$

$$V_{min} = \omega \cdot R_{min}, \quad (2.6)$$

$$V_{min} = 55 \cdot 0,239 = 13,15 \text{ м / с}.$$

Отже максимальна швидкість розкидання буде, коли лопатки в радіальному положенні з максимальним видовженням, а мінімальна швидкість, коли лопатка відхилена на кут 90^0 , а видовження лопатки рівне нулю.

2.2.2. Розрахунок дальності польоту частинки

Частинки мінеральних добрив сходять по лопатці на краю якої є змонтована вигнута пластина. Тому ми мусимо розглянути випадок руху частинки, що кинута під кутом до горизонту (рис.2.2).

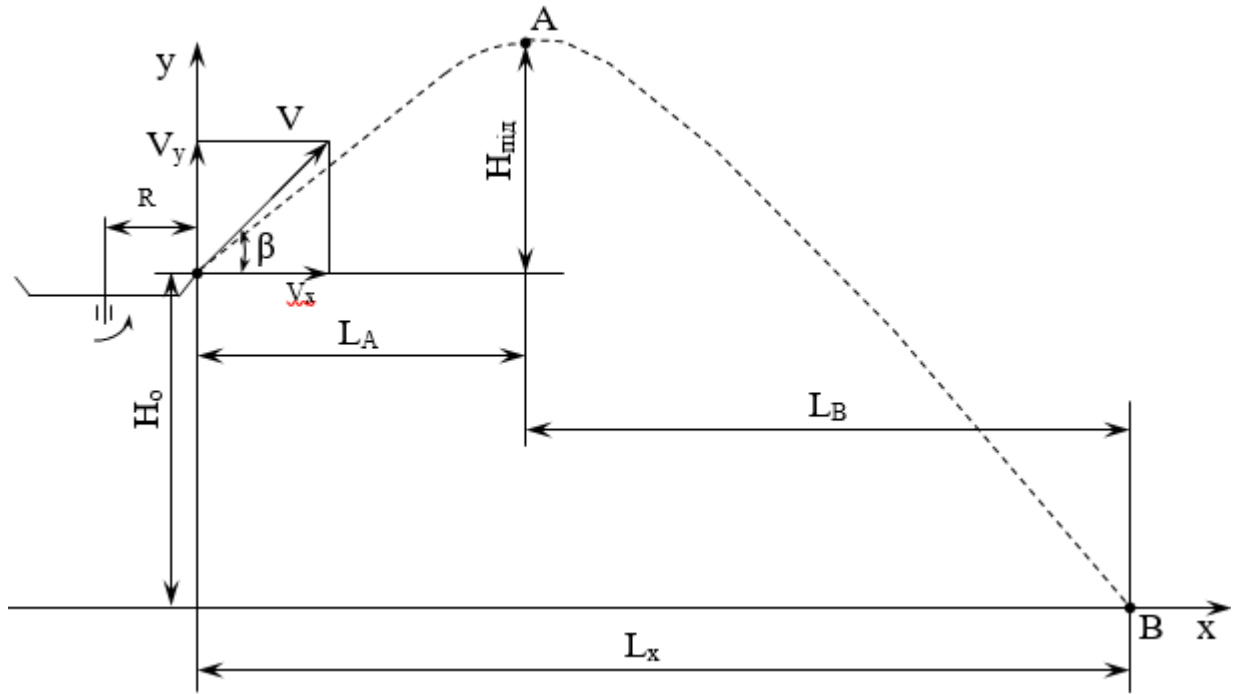


Рис. 2.2. Схема для визначення дальності польоту частинки
 L_x – дальність польоту частинки, що кинута під кутом до горизонту.

Характерними точками польоту є точка A максимальної висоти підкидання частинки, для якої є характерним, що $V_y=0$, і після неї частинка здійснює вільне падіння, при цьому: [5]

$$L_A = V_x \cdot t_A, \quad (2.7)$$

$$L_B = V_x \cdot t_B, \quad (2.8)$$

де t_A – час підкидання частинки на максимальну висоту, визначаємо з умови,

$$V_y = V_0 \cdot \sin \beta - gt_A, \quad (2.9)$$

якщо $V_y=0$ тоді

$$V_0 \cdot \sin \beta - gt_A = 0 \Rightarrow t_A = \frac{V_0 \sin \beta}{g}, \quad (2.10)$$

де β – кут підкидання до горизонту, з відомих міркувань, $\beta=45^\circ$,

$$t_{Amax} = \frac{V_{max} \cdot \sin \beta}{g} = \frac{18,42 \cdot \sin 30^0}{9,8} = 0,94c,$$

$$t_{Amin} = \frac{V_{min} \cdot \sin \beta}{g} = \frac{13,15 \cdot \sin 30^0}{9,8} = 0,67c.$$

Отже відстань, яку пролетить частинка вздовж осі Х досягне максимальної висоти визначимо: [5]

$$L_{Amax} = t_{Amax} \cdot V_{max} \cdot \cos \beta, \quad (2.11)$$

$$L_{Amax} = 0,94 \cdot 18,42 \cdot \cos 30^0 = 15,00m,$$

$$L_{Amin} = t_{Amin} \cdot V_{min} \cdot \cos \beta, \quad (2.12)$$

$$L_{Amin} = 0,67 \cdot 13,15 \cdot \cos 30^0 = 7,63m.$$

При цьому висота підйому частинки [4]

$$H_{max} = \frac{g_{max}^2 \cdot \sin^2 \beta}{2g}, \quad (2.13)$$

$$H_{max} = \frac{18,42^2 \cdot \sin^2 30^0}{2 \cdot 9,8} = 4,33m,$$

$$H_{min} = \frac{g_{min}^2 \cdot \sin^2 \beta}{2g}, \quad (2.14)$$

$$H_{min} = \frac{13,15^2 \cdot \sin^2 30^0}{2 \cdot 9,8} = 2,2m,$$

Тоді час падіння частинки

$$t_{max} = \sqrt{\frac{2(H + H_{max})}{g}}, \quad (2.15)$$

де Н – висота встановлення розкидних дисків, м,

$$t_{max} = \sqrt{\frac{2(0,7 + 4,33)}{9,8}} = 1,01c,$$

$$t_{min} = \sqrt{\frac{2(H + H_{min})}{g}}, \quad (2.16)$$

$$t_{min} = \sqrt{\frac{2(0,7 + 2,2)}{9,8}} = 0,77c .$$

Отже максимальна дальність польоту частинки

$$L_{max} = L_{Amax} + V_{max} \cdot \cos \beta \cdot t_{max} , \quad (2.17)$$

$$L_{max} = 15 + 18,42 \cdot \cos 30^0 \cdot 1,01 = 31,16m ,$$

$$L_{min} = L_{Amin} + V_{min} \cdot \cos \beta \cdot t_{min} , \quad (2.18)$$

$$L_{min} = 7,63 + 13,15 \cdot \cos 30^0 \cdot 0,77 = 16,39m .$$

Враховуючи, що під час руху дорив у вільному падінні існує опір повітря, а також подвійне перекриття приймемо, що робоча ширина розкидача буде змінюватись від 30м до 15м, коли кут α встановлення лопатки змінюється від 0 до 90°.

2.2.3. Розрахунок на міцність кріплення диска

Вихідні дані для розрахунку: [2]

- найбільший допустимий кратний момент, $M_{кр.мах}$, Н·м;
- робоча довжина шпонки, $l=30$ мм;
- діаметр вала, $d=20$ мм;
- ширина і товщина шпонки, $b=8$ мм, $h=8$ мм;
- виступ шпонки від шпон очного пазу, $K=3$ мм;
- допустиме напруження на зминання, $[\sigma_{см}]=1,5 \cdot 10^8$ Па;
- допустиме напруження на зріз, $[\tau_{см}]=2,5 \cdot 10^8$ Па;
- поверхня з твердістю \leq НВ 240.

Для розрахунку приймаємо навантаження на шпонку по всій довжині рівномірною.

Робочі грані перевіряють на зминання, d переріз С-С на зріз (рис 2.3).

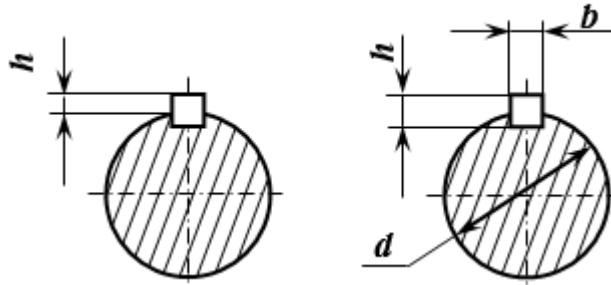


Рис. 2.3. Розрахункова схема

Умова міцності на зминання [2]

$$[M_{кр.маx}] = 0,5d \cdot K \cdot l \cdot [\sigma_{см}], \quad (2.19)$$

Отже

$$[M_{кр.маx}] = 0,5 \cdot 0,02 \cdot 0,003 \cdot 0,03 \cdot 15 \cdot 10^8 = 135 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Умова міцності січення С-С на зрізі

$$[M_{кр.маx}] = 0,5(d + K) \cdot b \cdot l \cdot [\sigma_{см}], \quad (2.20)$$

Отже

$$[M_{кр.маx}] = 0,5(0,02 + 0,003) \cdot 0,008 \cdot 0,03 \cdot 2,5 \cdot 10^8 = 690 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Максимальний крутний момент визнаємо за формули потужності:

$$N = M \cdot \omega, \quad (2.21)$$

де N – споживана потужність на привід розкидного диска,

$$M = \frac{4000}{55} = 72,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

В нашому випадку умова міцності на зминання виконується, оскільки $[M_{кр.маx}] > M_{кр.}$

Що свідчить, обране шпонкове з'єднання забезпечить передачу крутного моменту необхідного для приводу розкидного апарату.

Висновки до розділу 2

1. З метою підвищення рівномірності та дальності розподілу та внесення мінеральних добрив, запропоновано встановити удосконалений відцентрово-дисковий розкидний апарат до розкидача мінеральних добрив МВУ-5. За рахунок впровадження дисків з регульованою геометрією лопатей досягнули зпрошення процесу регулювання дози внесення та підвищення рівномірності внесення зі збільшенням перекриття між суміжними проходами агрегату.

2. Отримано показники основних конструкційно-технологічних параметрів модернізованого розкидного апарату: максимальний радіус обертання крайньої точки лопаті диска має змогу регулюватися в межах від 0,239 м до 0,335 м, при цьому, кут відхилення лопаті від радіального положення змінюється від 0 до 90°; дальність польоту частинки при зміні радіуса розкидного диска, коригується в діапазоні від 15 ... 30 м.

3. РОЗРАХУНОК ОПЕРАЦІОНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВНЕСЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

3.1. Агробіологічні особливості та агротехнічні вимоги

Промислові добрива бувають в порошкоподібному або гранульованому виді, з діаметром гранул від 1 до 5 мм.

Фізико-механічні властивості мінеральних добрив залежать головним чином від їх волого утримання. Зі зміною вмісту вологи змінюється сипучість добрив. Сипучість характеризується тим, що окремі частини, гранули, нічим не зв'язані між собою, крім сили тертя. Більшість мінеральних добрив мають малу сипучість.

Розсіяність характеризується проходженням добрив через висіваючі апарати, що мають вузькі вихідні щілини. Розсіяність залежить від ступеня вологості і сипучості добрив.

Найкращу розсіяність мають гранульовані добрива; розсіяність порошкоподібних добрив, в залежності від ступеня вологості.

Злежуваність характеризує фізичний стан зернових або гранульованих добрив. На Злежуваність добрив впливають волога, температура, висота шару і, особливо, умови зберігання.[8,9]

Агротехнічні вимоги:

1. Мінеральні добрива слід зберігати в буртах висотою не більше 3 м, відокремленими один від другого стінками і щитами. Засипані в мішки добрива складають в штабеля по 10-20 рядів з урахуванням їх фізико-механічних властивостей.

2. Злежані добрива подрібнюють і просівають безпосередньо перед змішуванням або внесенням. Розмір частин після подрібнення повинен складати в середньому 1-3 мм, розмір великих фракцій не повинен перевищувати 5 мм. Гранул розміром менше 1 мм повинно бути не більше ніж 5 %.

3. Добрива змішують з врахуванням їх фізико-механічних і хімічних властивостей, користуючись спеціальною таблицею. Перед змішуванням перевіряють вихідні компоненти на масові частини в них елементів живлення і води. Відхилення частин компонента від заданого співвідношення в суміші не повинні перевищувати 10%. Відхилення масової частини води в добривах від стандартної допускається не більше 25%.

4. Норми мінеральних добрив і хімічних меліорантів встановлюється з врахуванням плануючого врожаю зерна.

5. Не допускаються необроблені поворотні смуги, наявність похибок в місцях з'єднання по довжині проходу агрегату, а також просипання твердих мінеральних добрив в дорозі і на полі.

6. Час перерви між поверхневим розподілом добрив і їх внесенням не повинна перевищувати 12 год.[8,11]

3.2. Операція технологія виконання операції

В залежності від наявності машин, відстані доставки добрива на поле, норми внесення і інших факторів використовують прямо точкову, перевантажувальну і перевалочну схеми внесення.

Прямоточна технологія передбачає рух добрива по схемі: склад – машина для внесення – поле. Ця схема вигідна для випадку, якщо відстань від місця зберігання добрива до місця їх використання кузовними машинами.[12]

При великих віддальх застосовують перевантажувальну або перевалочну схему.

Перевантажувальну схему застосовують в такій послідовності: склад – перевізник - перевантажувальник – машина для внесення – поле. По такій схемі машина працює тільки при внесенні, завдяки чому підвищується продуктивність агрегату.[13]

Перевалочна технологія передбачає роботу за схемою: склад -автосамоскид - перевантажувальна площадка - машина для внесення - поле.

Ця технологія дозволяє провести частину роботи по доставці добрива в поле до агротехнічних термінів їх внесення, що особливо суттєво при внесенні вапняних матеріалів, які застосовуються у великих дозах.

При внесенні мінеральних добрив перевантажувальну схему застосовують в окремих випадках. Найбільш широкого застосування заслуговує прямо точкова і перевалочна технологічні схеми внесення добрив. Вони найбільш економічні і забезпечують повну механізацію робіт.[13]

3.3. Розрахунок операцій внесення мінеральних добрив

Для виконання операції в господарстві використовують розкидач МВУ-5, агрегатований трактором МТЗ-80. Оскільки технологія внесення добрив передбачає транспортування та розкидання мінеральних добрив цим самим агрегатом, то необхідно провести його розрахунки, як транспортного так і розкидного агрегату.

Визначаємо максимальну вагу розкидача з вантажем за формулою [5]:

$$G_{np\max} = \frac{P_z^n - Gf(a_{mp} - 1)}{f_{np} \cdot a_{np}}, \quad (3.1)$$

де f і f_{np} – коефіцієнти опору коченню трактора і причепа;

a_{mp} і a_{np} – коефіцієнти підвищення опору руху трактора і причепа;

G – вага трактора, кН;

P_z^n – номінальне гакове зусилля на вибраній передачі,

$$G_{np\max} = \frac{14,0 - 31,6 \cdot 0,05 \cdot (1,8 - 1)}{0,06 \cdot 2,48} = 85,59 \text{ кН.}$$

Вага вантажу в причепі

$$Q = V\rho_n \leq Q_{вн}, \quad (3.2)$$

де V – об'єм кузова, м³;

ρ_n – щільність вантажу, т/м³;

$Q_{вн}$ – вантажопідйомність розкидача, т,

$$Q = 6 \cdot 0,8 \leq 5,$$

$$Q = 4,8 \leq 5.$$

Коефіцієнт використання вантажопідйомності

$$K_\epsilon = \frac{Q}{Q_{вн}}, \quad (3.3)$$

$$K_\epsilon = \frac{4,8}{5} = 0,96.$$

Загальна вага вибраного розкидача з вантажем

$$G_{np} = G_{np.x} + Q, \quad (3.4)$$

де $G_{np.x}$ – вага причепа без вантажу, кН,

$$G_{np} = 20 + 48 = 68 \text{ кН.}$$

Визначаємо гакове зусилля для вибору нижчої передачі, необхідної для подолання максимального кута піднімання за формулою [6]:

$$P_z^n \geq G_{np} \left(f_{np} + \frac{i}{100} \right) + G \left[f_{mp} \pm \frac{i}{100} \right], \quad (3.5)$$

де i – максимальний кут піднімання, град,

$$P_z^n \geq 68 \left(0,06 + \frac{5}{100} \right) + 31,6 \left[0,05 \pm \frac{5}{100} \right] = 10,6 \text{ кН.}$$

Згідно технічної характеристики вибираємо п'яту передачу для якої $v_m = 10,5$ км/год, а $P_z^n = 11,5$ кН.

Визначаємо тяговий опір агрегату

$$R_{azp} = G_{np} \cdot \left(f_{np} \pm \frac{i}{100} \right), \quad (3.6)$$

$$R_{azp} = 68 \cdot \left(0,06 \pm \frac{5}{100} \right) = 7,48 \text{ кН.}$$

Визначаємо опір агрегату за формулою:

$$R_{azp} = R_m + R_{всп}, \quad (3.7)$$

де R_m , $R_{всп}$ – відповідно опір машини тяговий та опір, що міг би бути додатково подоланий на привід робочих органів с.-г. машин,

$$R_m = G_{np} \left(f_{np.p.} \pm \frac{i}{100} \right), \quad (3.8)$$

де $f_{np.p.}$ – коефіцієнт опору коченню, $f=0,12$,

Оскільки рельєф поля рівний, то $i=0$, а тому:

$$R_m = 68 \cdot 0,12 = 8,16 \text{ кН.}$$

Опір на привід робочих органів розкидача:

$$R_{всп} = \frac{N_{np} \cdot \eta_c}{g_p}, \quad (3.9)$$

де N_{np} – потужність приводу, кВт;

g_p – робоча швидкість, м/с;

η_c – коефіцієнт силової передачі;

$\eta_{тр}$ – коефіцієнт трансмісії,

Робоча швидкість $g_p = 15$ км/год = 4,1 м/с,

$$R_{\text{всн}} = \frac{13 \cdot 0,9}{4,1 \cdot 0,96} = \frac{11,7}{3,93} = 2,97 \text{ кН.}$$

А також $R_{\text{азр}} = 2,97$ кН.

Визначимо коефіцієнт використання гакового зусилля за формулою [6]:

$$\eta = \frac{R_{\text{азр}}}{P_2}, \quad (3.10)$$

$$\eta = \frac{2,97}{14} = 0,21.$$

Визначимо коефіцієнт використання потужності трактора за формулою:

$$\eta_n = \frac{N_{\text{зак}} + N_{\text{всн}}}{N_e},$$

де N_e – ефективна потужність двигуна, кВт,

Гакова потужність [11]

$$N_{\text{зак}} = \mathcal{G} \cdot R_{\text{азр}}, \quad (3.11)$$

$$N_{\text{зак}} = 4,1 \cdot 2,97 = 12,17 \text{ кВт,}$$

$$\eta_n = \frac{12,17 + 13}{58,8} = 0,42.$$

Перед початком роботи необхідно підготувати агрегат до роботи.

При підготовці трактора необхідно провести його щозмінне, а при необхідності періодичне ТО. Перевірити комплектність і справність трактора, його основних механізмів і систем, наявність ПММ. Встановити розкидач та з'єднати його привід з ВВП трактора через карданну передачу. [11]

При підготовці розкидача перевірити комплектність, встановити дозу внесення добрив. [11]

Готуючи поле до роботи необхідно вибрати спосіб руху агрегату, визначити ширину поворотної смуги та ширину заїмки, величини яких кратні подвійній ширині захвату агрегату. [11]

Визначаємо кінематичні параметри перегону.

Мінімальна ширина поворотної смуги для даного розвороту (повороту) [11]

$$E_{\min} = 2,8R_0 + 0,5d_a + e, \quad (3.12)$$

де R_0 – радіус повороту, м;

d_0 – кінематична ширина агрегату, м;

e – довжина виїзду агрегату, м,

$$R_0 = 0,9B_p, \quad (3.13)$$

$$R_0 = 0,9 \cdot 30 = 27 \text{ м}.$$

Кінематична довжина агрегату, як сума кінематичних довжин трактора l_{mp} і машини l_m , [11]

$$l_k = l_{mp} + l_m, \quad (3.14)$$

де l_{mp} – кінематична довжина трактора, м;

l_m – кінематична довжина розкидача мінеральних добрив, м,

$$l_k = 1,2 + 5,9 = 7,1 \text{ м}.$$

Довжина виїзду агрегату: [11]

$$e = 0,5 l_k = 0,5 \cdot 7,1 = 3,55 \text{ м}. \quad (3.15)$$

Кінематична ширина агрегату: [11]

$$d_k = \frac{B_{a2}}{2} = \frac{30}{2} = 15 \text{ м}. \quad (3.16)$$

Тоді мінімальна ширина поворотної смуги буде: [11]

$$E_{\min} = 2,8 \cdot 27 + 0,5 \cdot 3 + 3,55 = 80,65 \text{ м}.$$

Фактична ширина поворотної смуги, враховуючи, що поперек нарізаних гребенів не виконується, може бути рівна 82 м.

Кількість робочих ходів n_p і холостих n_x на полі буде рівна: [11]

$$n_p = \frac{C}{B_{a2}}, \quad n_x = \frac{C}{B_{a2}} - 1, \quad (3.17)$$

де C – ширина поля, м.

$$n_p = \frac{750}{30} = 25, n_x = \frac{750}{30} - 1 = 24.$$

Довжина робочого ходу: [11]

$$L_p = L - 2 \cdot E_{\phi}, \quad (3.18)$$

де L – довжина загінки, м.

$$L_p = 750 - 2 \cdot 82 = 586 \text{ м.}$$

Довжина холостого повороту: [11]

$$l_x = 6,6 \cdot R_0 + 2 \cdot e, \quad (3.19)$$

$$l_x = 6,6 \cdot 27 + 2 \cdot 3,55 = 185,3$$

Оскільки агрегат використовується і для транспортування добрив, то необхідно знайти час одного циклу, тобто [11]:

$$t_{\text{ц}} = t_n + t_{\text{роз}} + t_{\text{р.в.}} + t_{\text{р.б.в.}} + t_{\text{хх}} \quad (3.20)$$

де $t_{\text{ц}}$ – час навантаження розкидача, год;

$t_{\text{роз}}$ – час розвантаження, год;

$t_{\text{р.в.}}$ – час руху з вантажем, год;

$t_{\text{р.б.в.}}$ – час руху без вантажу, год;

$t_{\text{хх}}$ – час холостих ходів при поворотах, год,

Тривалість навантаження [11]

$$t_n = \frac{Q}{W_p} + t_{\text{н.в.}}, \quad (3.21)$$

де W_p – продуктивність навантажувача, т/год;

$t_{\text{хх}}$ – час на під'їзд та від'їзд від навантажувача, год,

$$t_n = \frac{4,8}{135} + \frac{2}{60} = 0,07 \text{ год.}$$

Тривалість розвантаження залежить від запасу ходу агрегату за технологічною ємністю, тобто: [11]

$$t_{роз} = \frac{L_3}{g_p}, \quad (3.22)$$

де L_p – запас ходу агрегату за технологічною ємністю, м,

$$L_3 = \frac{10^4 g}{B_p Q_n}, \quad (3.23)$$

де g – вміст бункера, т;

Q_n – норма внесення добрив, т/га,

$$L_3 = \frac{10^4 \cdot 5}{30 \cdot 0,9} = 1851,85 \text{ м.}$$

Тоді

$$t_{роз} = \frac{1,851}{15} = 0,123 \text{ год.}$$

Враховуючи, що швидкість руху агрегату без вантажу буде 26 км/год, а з вантажем 10 км/год, то при відстані перевезення 4 км, отримаємо: [11]

$$t_{p.в.} + t_{p.б.в.} = \frac{2S}{g_{сер}}, \quad (3.24)$$

де $g_{сер}$ – середня швидкість руху агрегату, км/год,

$$t_{p.в.} + t_{p.б.в.} = \frac{2 \cdot 4}{18} = 0,44 \text{ год.}$$

ривалість холостого повороту на краю поля[11]

$$t_{xx} = \frac{l_x}{g_x} \quad (3.25)$$

де g_x – швидкість руху агрегату при поворотах, $g_{x_2} = 2$ км/год,

$$t_{xx} = \frac{42,74 \cdot 10^{-3}}{2} = 0,021 \text{ год.}$$

Підставивши отримані значення у формулу (3.20) будемо мати

$$t_{\Pi} = 0,17 + 0,123 + 0,44 + 0,021 = 0,654 \text{ год} = 39,24 \text{ хв.}$$

Кількість циклів роботи агрегату за зміну округлюється до більшого числа [3]:

$$n_{\text{Ц}} = \frac{T_{\text{зм}} - T_{\text{пз}} - T_{\text{відп}}}{t_{\text{ц}}}, \quad (3.26)$$

де $T_{\text{зм}}$ – тривалість часу зміни, хв;

$T_{\text{пз}}$ – підготовчо-заключний час, хв;

$$T_{\text{пз}} = T_{\text{емо}} + T_{\text{пн}} + T_{\text{пнк}} + T_{\text{пн}}, \quad (3.27)$$

де $T_{\text{емо}}$ – час на технічне обслуговування трактора і с.-г. машини, $T_{\text{емо}} = 31$ хв;

$T_{\text{пн}}$ – час на підготовку агрегату до переїзду, $T_{\text{пн}} = 3$ хв;

$T_{\text{пнк}}$ – час на переїзди на початку і в кінці зміни, $T_{\text{пнк}} = 35$ хв;

$T_{\text{пн}}$ – час на отримання наряду і здача роботи, $T_{\text{пн}} = 10$ хв.

$T_{\text{відп}}$ – час регламентованих внутрішніх перерв на відпочинок, $T_{\text{відп}} = 40$ хв.

Тоді

$$T_{\text{пз}} = 31 + 3 + 35 + 10 = 79 \text{ хв};$$

$$n_{\text{Ц}} = \frac{420 - 79 - 40}{39,2} = 7,67 \text{ циклів.}$$

Приймаємо $n_{\text{Ц}} = 8$.

Чистий робочий час за зміну: [11]

$$T_{\text{р}} = t_{\text{рц}} \cdot n_{\text{ц}}, \quad (3.28)$$

$$T_{\text{р}} = 39,2 \cdot 8 = 313,6 \text{ хв.}$$

Час на внесення добрив[11]

$$t_{\text{р}} = n_{\text{ц}} \cdot t_{\text{рц}}, \quad (3.29)$$

$$t_{\text{р}} = 8 \cdot 0,123 = 0,984 \text{ год.}$$

Дійсний час зміни[11]

$$T_{\text{д}} = t_{\text{ц}} \cdot n_{\text{ц}} + T_{\text{пз}} + T_{\text{відп}}, \quad (3.30)$$

$$T_{\text{д}} = 39,2 \cdot 8 + 79 + 40 = 432,6 \text{ хв} = 7,21 \text{ год.}$$

Коефіцієнт використання часу зміни[11]

$$\tau = \frac{T_p}{T_o}; \quad \tau = \frac{313,6}{432,6} = 0,72. \quad (3.31)$$

Визначаємо техніко-економічні показники використання МТА.

Продуктивність агрегату за зміну: [11]

$$W_{зм} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot T_o, \quad (3.32)$$

$$W_{зм} = 0,1 \cdot 30 \cdot 15 \cdot 0,984 = 44,28 \text{ га/зм.}$$

Продуктивність агрегату за годину чистого часу: [11]

$$W_{годч} = \frac{W_{зм}}{T_p}, \quad (3.33)$$

$$W_{годч} = \frac{44,28}{7} = 6,32 \text{ га/год.}$$

Визначимо затрати праці на одиницю роботи[11]

$$S_m = \frac{m_o T_o + m_g T_g}{W_{зм}}, \quad (3.34)$$

де m_o , m_g – відповідно кількість силових і допоміжних працівників, чол.;

T_o , T_g – відповідно час роботи основного і допоміжного працівника, год

$$S_m = \frac{1,7}{44,28} = 0,15 \text{ люд.год/га.}$$

Визначимо експлуатаційні затрати під час роботи агрегату.

Погектарна витрата палива: [11]

$$Q = \frac{G_{mp} T_p + G_{mx} T_x + G_{mo} T_o}{W_{зм}}, \quad (3.35)$$

де $G_{тр}$, $G_{тх}$, $G_{то}$ – середня годинна витрата палива, кг/га, відповідно при робочому ході, при холостому русі і при зупинках трактора з працюючим двигуном;

$$Q = \frac{10,5 \cdot 3,14 + 6 \cdot 2,95 + 1,4 \cdot 0,91}{44,28} = 1,17 \text{ кг/га.}$$

Питомі затрати на амортизацію трактора: [11]

$$S_{am} = \frac{(a_{pm} + a_{kp} + a_{mmo})B_m}{100T_{pz} \cdot W_{год}}, \quad (3.36)$$

де a_{pm} , a_{km} , a_{mmo} – норми річних відрахувань відповідно на реновацію, капітальний ремонт, технічне обслуговування і поточний ремонт, %;

B_m – балансова вартість трактора, грн.;

T_p – річне завантаження трактора, год;

$W_{год}$ – годинна продуктивність агрегату, га/год.

$$S_{am} = \frac{(12,5 + 4 + 22) \cdot 120000}{100 \cdot 1200 \cdot 6,32} = 6,09 \text{ грн./га.}$$

Питомі затрати на амортизацію розкидача[11]:

$$S_{am} = \frac{(a_{pm} + a_{мом}) \cdot B_m}{100 \cdot T_{pm} \cdot W_2}, \quad (3.37)$$

де a_{pm} , $a_{мом}$ – норми річних відрахувань відповідно на реновацію, технічне обслуговування і поточний ремонт машини, %;

B_m – балансова вартість машини, грн.;

T_{pm} – річне завантаження машини, год.

$$S_{am} = \frac{(14 + 17) \cdot 44000}{100 \cdot 110 \cdot 6,32} = 19,62 \text{ грн./га.}$$

Питомі затрати на паливо-мастильні матеріали:

$$S_{nm} = Q \cdot C_{nm}, \quad (3.38)$$

де Q – погектарна витрата палива на даній роботі, кг/га;

C_{nm} – комплексна ціна 1 кг палива, грн.

$$S_{nm} = 1,17 \cdot 46,5 = 47,6 \text{ грн/га.}$$

Затрати на основну зарплату: [11]

$$S_{zn} = \frac{k \cdot (m_{mp} \cdot f_1 + m_{\delta} \cdot f_2)}{W_{zod}}, \quad (3.39)$$

де k – коефіцієнт, що враховує доплати;

m_{mp} , m_{δ} – відповідно кількість трактористів і допоміжного персоналу, що обслуговують агрегат;

f_1 , f_2 – тарифні ставки тракториста і допоміжного персоналу;

$$S_{zn} = \frac{1,1 \cdot 1 \cdot 70}{6,32} = 12,09 \text{ грн./га.}$$

Сумарні прямі затрати на одиницю виконаної роботи: [11]

$$S_o = S_{am} + S_{am} + S_{nm} + S_{zm}, \quad (3.40)$$

$$S_o = 6,09 + 19,62 + 47,6 + 12,09 = 85,4 \text{ грн/га.}$$

Приведені затрати на роботу агрегату: [11]

$$S_{np} = S_o + \frac{E_n}{W_{zod}} \cdot \left(\frac{B_m}{T_{pm}} + \frac{B_M}{T_{pM}} \right), \quad (3.41)$$

де E_k – коефіцієнт ефективності капіталовкладень, $E_k = 0,15$.

$$S_{np} = 85,4 + \frac{0,15}{6,32} \cdot \left(\frac{120000}{1200} + \frac{44000}{110} \right) = 87,27 \text{ грн./га.}$$

На основі отриманих даних зроблена операційна карта на виконання операції внесення мінеральних добрив, що приведена на аркуші графічної частини.

Висновки до розділу 3

1. Для внесення мінеральних добрив запропоновано використати розкидач мінеральних добрив МВУ-5 на якому змонтовано розроблений апарат. З метою зменшити витрати на виконання рооти, запропонована прямоточна технологія, тото розкидач виконує транспортування та внесення добрив.

2. Основні техніко-економічні показники виконання операції внесення добрив розкидачем МВУ-5 становлять: продуктивність агрегату за зміну - 44,28

га/зм; витрата палива - 1,17 кг/га; затрати праці – 0,15 люд.год/га прями
експлуатаційні затрати – 85,4 грн/га; приведені експлуатаційні затрати – 87,27
грн/га.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Провівши аналіз конструкцій розкидних апаратів встановлено, неможливість в деяких машинах регулювання ширини розкидання добрив, діаметри дисків приймають від 0,35 до 0,75 метрів. Диски обертаються з частотою в межах 400-600 об/хв. Лопатки, як правило, відхилені в сторону обертання на кут 12-18°, але при цьому жорстко закріплені на диску, що не уможливорює їх регулювання під різні кути, під час технологічного процесу.

Важливими параметрами робочих органів, що впливають на ширину захвату машини і рівномірність розподілу добрив є частота обертання і діаметр дисків. Якщо частоту обертання ми можемо регулювати, то діаметр диска залишається постійним.

2. Отримано показники основних конструкційно-технологічних параметрів модернізованого розкидного апарату: максимальний радіус обертання крайньої точки лопаті диска має змогу регулюватися в межах від 0,239 м до 0,335 м, при цьому, кут відхилення лопаті від радіального положення змінюється від 0 до 90°; дальність польоту частинки при зміні радіуса розкидного диска, коригується в діапазоні від 15 ... 30 м.

Виконано розрахунок на міцність посадочного вузла приводу розкидного дискового апарату. Встановлено геометричні параметри шпонкового з'єднання.

3. Для внесення мінеральних добрив запропоновано використати розкидач мінеральних добрив МВУ-5 на якому змонтовано розроблений апарат. Основні техніко-економічні показники виконання операції внесення добрив розкидачем МВУ-5 становлять: продуктивність агрегату за зміну - 44,28 га/зм; витрата палива - 1,17 кг/га; затрати праці - 0,15 люд.год/га прями експлуатаційні затрати - 85,4 грн/га; приведені експлуатаційні затрати - 87,27 грн/га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Щур М.І. та ін. Підвищення ефективності зернового господарства. – К.: Урожай, 1986. – 152 с.
2. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків : навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання / А. В. Гайдамака. – Харків : НТУ «ХП», 2020. – 275 с.
3. Деталі машин.(КП по ДМ, лабораторні роботи, завдання до виконання СРС і МКР). Навчальний посібник з кредитного модуля для студентів технічних спеціальностей / Укладач Горбатенко Ю.П. – К.: НТУУ «КП ім. І.Сікорського», 2019. - 97 с.
4. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; За ред.. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.
5. Сільськогосподарські машини: Практикум з розрахунку і досліджень робочих процесів / В.Я. Рибарук, І.І. Ріпка. – Львів: ЛДАУ, 1998. – 264 с.
6. Диденко Н.К. Эксплуатация машинно-тракторного парка. – К.: Высшая шк., 1977. . – 344 с.
7. Гречкосій В.Д. і ін. Довідник сільського інженера. – К.: Урожай, 1988. – 360 с.
8. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред.. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2004. – 544 с.
9. Гаврилюк Г.Р. Практикум з технологічної наладки та усунення несправностей сільськогосподарських машин. – К.: Урожай, 1995. 144 с.
10. Лехман С.Д., Рубль В.І., Рябцев Б.І. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. – К.: Урожай, 1993. – 270 с.
11. <https://agro-smart.com.ua/product/mvu-5-rum-5-rozkidach-mineralnih-dobriv>

12. Експлуатація машин і обладнання: навчальний посібник / Ружицький М.А., Рябець В.І., Кіяшко В.М. та ін. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 617 с.
13. Практикум із машиновикористання в рослинництві: навчальний посібник / А.С. Лімонт, І.І. Мельник, А.С. Малиновський, В.В. Марченко, В.Л. Гуз, І.М. Грищенко / За ред. І.І. Мельника – К.: Кондор. – 2004. – 284 с.

ДОДАТКИ