

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Допущено до захисту
“ ” _____ 2025 р.
Зав. кафедри, д.т.н., професор
_____ Дідур В.В.

Кваліфікаційна робота (дипломна робота)

другий (магістерський)

(освітній рівень)

на тему **«ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ**
ПАРАМЕТРІВ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО»

Виконав: студент 2 курсу,
групи 22м-ім
Спеціальність _____ Н7
«Агроінженерія»
Павло ШКОЛЬНИЙ
(прізвище та ініціали)

Керівник _____ Андрій ВОЙТІК
(прізвище та ініціали)

Рецензент _____ Віталій ЛЮБИЧ
(прізвище та ініціали)

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Освітній рівень магістр

Спеціальність Н7 «Агроінженерія»
 (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувача кафедри
 _____ Дідур В.В.
 “ ____ ” _____ 2025 р.

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

Школьному Павлу Тимофійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження техніко-технологічних параметрів вирощування кукурудзи на зерно»

керівник роботи Войтік А.В., к.т.н., доцент
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

“12” грудня 2017 р. № 01-06/171

2. Строк подання студентом роботи 20.11.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: звіти про виробничу діяльність господарства; виробничий процес – виробництво кукурудзи на зерно; технології вирощування кукурудзи на зерно: інтенсивна, No-till.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

коротка характеристика господарства і аналіз господарської діяльності; технології вирощування кукурудзи на зерно; багатокритеріальний аналіз машинних агрегатів при вирощуванні кукурудзи на зерно та розробка технологічної карти; дослідження операції лушення стерні та удосконалення дискового луцильника питання охорони і безпеки праці; техніко-економічне обґрунтування роботи.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 20 слайдів) як додаток до доповіді за темою дипломної роботи.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		

7. Дата видачі завдання 04 квітня 2025 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу	08.04.2025	
2.	Розділ 1. Стан питання та задачі досліджень	30.04.2025	
3.	Розділ 2. Теоретичне обґрунтування вибору машин та розробка технологічної карти вирощування кукурудзи на зерно	31.07.2025	
4.	Розділ 3. Дослідження операційної технології лущення стерні з розробкою машини	28.09.2025	
5.	Розділ 4. Охорона праці	31.10.2025	
6.	Розділ 5. Техніко-економічне обґрунтування	19.11.2025	
7.	Виконання графічної частини роботи	19.11.2025	
8.	Представлення роботи керівнику на перевірку	20.11.2025	

Студент

(підпис)

Павло ШКОЛЬНИЙ

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Андрій ВОЙТІК

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Школьний П.Т. Дослідження техніко-технологічних параметрів вирощування кукурудзи на зерно (Дипломна робота. Умань, Уманський національний університет, 20125: пояснювальна записка на 52 сторінках, у т.ч. 4 розділи, 6 рисунків, 7 таблиць, 19 джерел).

Об'єкт дослідження – механізований технологічний процес вирощування кукурудзи на зерно.

Мета роботи – дослідження технології та набору машин і раціональне їх використання при вирощуванні озимої пшениці для умов ТОВ „Аграрій СВПП” Уманського району Черкаської області.

У першому розділі проведено багатокритеріальний аналіз вибору машинних агрегатів та розроблено технологічну карту для вирощування культури.

У другому розділі обґрунтовано умови виконання операції лушення стерні: агротехнічні вимоги, склад агрегату і його техніко-економічні показники, наведено конструктивне удосконалення дискового луцильника та розраховано основні параметри удосконаленого вузла.

У третьому розділі розглянуто стан охорони праці в господарстві, та правила техніки безпеки при роботі з удосконаленою машиною.

У четвертому розділі “ розраховано основний ефект від запропонованого удосконалення дискового луцильника.

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО, ЛУЩЕННЯ СТЕРНІ, ДИСКОВИЙ ЛУЦИЛЬНИК, ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 ВИБІР МАШИН ЗА МЕТОДИКОЮ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ систем	6
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЛУЩЕННЯ СТЕРНІ З РОЗРОБКОЮ МАШИНИ.....	10
2.1. Розробка операційно-технологічної карти на виконання операції лущення стерні.....	10
2.2. Огляд конструкцій дискових лущильників	16
2.3. Опис удосконалення	22
2.4. Розрахунок дискового лущильника.....	24
2.5. Розрахунок підшипників на довговічність	27
РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ	30
3.1 Моделювання виробничих ситуацій.....	35
РОЗДІЛ 4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	37
ВИСНОВКИ.....	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	41

ВСТУП

Зерно злакових та бобових культур відіграє ключову роль у промисловості України, яка є однією з провідних аграрних країн світу. Важливість цих культур можна визначити через кілька основних аспектів.

Зернові культури, такі як пшениця, кукурудза та ячмінь, є основними експортними товарами України. Вони забезпечують значну частину доходів аграрного сектору, сприяють розвитку місцевих економік і стабільності національної валюти.

Злакові та бобові культури є основними джерелами харчування для населення, а також сировиною для кормів тварин. В умовах глобальних викликів, таких як зміни клімату та зростання населення, забезпечення продовольчої безпеки стає все більш актуальним.

Зернові культури сприяють розвитку сільського господарства, забезпечуючи робочі місця, підтримуючи фермерські господарства та сприяючи впровадженню нових агротехнологій. Вони також стимулюють розвиток супутніх галузей, таких як переробка, транспортування та зберігання.

Бобові культури, такі як соя та горох, мають важливе значення для покращення родючості ґрунтів завдяки здатності фіксувати азот. Це зменшує потребу в хімічних добривах, що позитивно впливає на екологічну ситуацію.

Українські аграрії активно впроваджують нові технології для підвищення врожайності та стійкості до кліматичних змін. Це включає використання нових сортів, точного землеробства та сучасних методів обробки ґрунту.

Отже, зерно злакових та бобових культур є не лише важливим економічним ресурсом, а й основою для продовольчої безпеки, розвитку сільського господарства та екологічної стійкості в Україні. Це створює передумови для сталого розвитку та інтеграції країни в світову економіку.

РОЗДІЛ 1. ВИБІР МАШИН ЗА МЕТОДИКОЮ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ.

Системний підхід до обґрунтування рішень часто викликає необхідність застосовувати для оцінки альтернативних варіантів декілька критеріїв. У багатьох випадках рішення повинно відповідати декільком критеріям, що суперечать один одному (продуктивність – якість, рівень механізації – затрати паливо-мастильних матеріалів, втрати урожаю – затрати на виконання робіт), тобто зміна характеристик системи з метою покращення одного з них викликає погіршення іншого. Побудова єдиної шкали для оцінки всієї сукупності критеріїв, що мають різний фізичний зміст, викликає значні труднощі.

У загальному вигляді математична модель (ММ) багатокритеріальної задачі описується виразом:

$$MM = T, S, U, L, H, Y;$$

де ***T*** — тип багатокритеріальної задачі (оптимізація, ранжування, вибір);

S — множина варіантів характеристик системи, що оцінюється;

U — множина критеріїв, за якими оцінюється система;

L — шкала оцінок по кожному критерію;

H — система пріоритетів особи, що приймає рішення на множині варіантів ***S***;

Y — правило вирішення, яке на множині варіантів ***S*** задає відношення переваги відповідно до системи пріоритетів ***H***.

Для пошуку кращого рішення необхідно множину варіантів ***S*** представити у просторі критеріїв ***U*** зі шкалами оцінок ***L*** і відповідно до правила вирішення ***Y*** впорядкувати цю множину, використовуючи систему пріоритетів ***H***.

У інженерній діяльності застосовують методи багатокритеріального вибору рішення із множини можливих варіантів.

Одним із методів багатокритеріального вибору є метод відстані до цілі. Суть його полягає в порівнянні ***J***-го варіанту вихідної множини альтернативних варіантів з ідеалізованим варіантом.

За ідеалізований варіант приймають умовний варіант, якому приписуються кращі значення критеріїв з вихідної множини альтернативних варіантів. При цьому необхідно зауважити, що формування множини

прийнятих критеріїв необхідно здійснювати при однаковому напрямку покращення всіх критеріїв. Розглянемо це на прикладі луцення стерні (табл. 1.1.).

Таблиця 1.1 - Вихідна множина альтернативних варіантів та критеріїв

Склад машинних агрегатів	W , га/год.	G , кг/га	F_g , га/кг	C , грн./га	F_c , га/грн.	μ
К-701+ЛДГ-20	8,3	4,5	0,22	314,5	0,00318	– 0,197
Т-150К+ЛДГ-15	7,5	3,1	0,32	232,9	0,00429	– 0,040
Т-150К+ЛДГ-10	5,2	3,1	0,32	227,5	0,00439	– 0,123
Ідеалізований варіант	8,3		0,32		0,00439	0

У нашому прикладі умова покращення всіх критеріїв в одному напрямку не дотримується, бо покращення продуктивності W спрямоване у бік її зростання, а витрата палива G та прямі експлуатаційні затрати C – у бік зниження.

Для забезпечення умови введемо критерії $F_g = 1/G$ та $F_c = 1/C$, тобто обернені відповідно до витрати палива та прямих експлуатаційних затрат. Такі критерії характеризують розмір площі, що обробляється при затраті одиниці палива та одиниці коштів, а їх покращення, як і продуктивність, спрямовані у бік зростання.

У випадку, коли всі критерії мають однакову значущість, для кожного j -го варіанту вихідної множини альтернатив визначається показник відстані до цілі за формулою:

$$\mu_i = \frac{1}{N} \sum \frac{U_{ij}}{U_{io}} - 1,$$

де μ_i — відстань до цілі j -го варіанту;

N — число критеріїв;

U_{ij} — значення i -го критерію j -го варіанту;

U_{io} — значення i -го критерію ідеалізованого варіанту.

З вихідної множини альтернатив вибирається варіант, що знаходиться найближче до ідеалізованого варіанту, для якого $\mu = 0$.

У випадку коли критерії нерівноцінні, то визначають значущість критеріїв, використовуючи метод розставлення пріоритетів. Коефіцієнт значущості критеріїв розраховують при забезпеченні умови $\sum \lambda_i = 1$, наступним чином.

При попарному порівнянні критеріїв у відповідних комірках матриці (таблиця 1.2) проставляють коефіцієнти переваг. Якщо критерій в i -й стрічці має перевагу над критерієм в j -у стовпчику, то коефіцієнт приймають рівним — 1,5; при їх однаковій значущості — 1,0, а при меншій — 0,5.

Таблиця 1.2 - Матриця визначення значущості критеріїв

Індекс критерію	K_1	K_2	K_3	$\sum K_i$	P_{ij}	λ_i
K_1	1,0	1,0	0,5	2,5	7,0	0,27
K_2	1,0	1,0	0,5	2,5	7,0	0,27
K_3	1,5	1,5	1,0	4,0	11,5	0,46
					$\sum P_{ij} = 25,5$	

Коефіцієнти значущості λ_i визначають за формулою:

$$\lambda_i = \frac{P_{ij}}{\sum P_{ij}},$$

де P_{ij} — визначається, як сума добутків кожного елементу i -ї стрічки на елементи вектор-стовпчика $\sum K_{ij}$;

тобто,

$$P_{ij} = [K_{ij} [\sum K_{ij}]] \downarrow.$$

Пояснимо це на прикладі (табл. 1.2), у якому критерій K_1 та критерій K_2 рівнозначні, а критерій K_3 домінує над критеріями K_1 та K_2 , тобто

$$K_1 = K_2 \not\prec K_3.$$

Тоді, для 1-ї стрічки матриці:

$$P_{1j} = K_{11}\sum K_1 + K_{12}\sum K_2 + K_{13}\sum K_3 = 1,0 \times 2,5 + 1,0 \times 2,5 + 0,5 \times 4,0 = 7,0.$$

Для 2-ї стрічки матриці:

$$P_{2J} = K_{21}\Sigma K_1 + K_{22}\Sigma K_2 + K_{23}\Sigma K_3 = 1,0 \times 2,5 + 1,0 \times 2,5 + 0,5 \times 4,0 = 7,0.$$

Для 3-ї стрічки матриці:

$$P_{3J} = K_{31}\Sigma K_1 + K_{32}\Sigma K_2 + K_{33}\Sigma K_3 = 1,5 \times 2,5 + 1,5 \times 2,5 + 1,0 \times 4,0 = 11,5.$$

Тоді коефіцієнти значущості критеріїв будуть рівні:

$$\lambda_1 = 7,0/25,5 = 0,27;$$

$$\lambda_2 = 7,0/25,5 = 0,27 ;$$

$$\lambda_3 = 11,5/25,5 = 0,46.$$

Визначивши коефіцієнти значущості критеріїв, розраховують відстань до цілі для заданої множини альтернативних варіантів:

$$\mu_i = \sum \frac{U_{ij}}{U_{io}} \lambda_i - 1,$$

де U_{ij} — значення i -го критерію j -го варіанту;

U_{io} — значення i -го критерію ідеалізованого варіанту;

λ_i — коефіцієнт значущості i -го критерію.

З вихідної множини альтернатив вибирається варіант, що знаходиться найближче до ідеалізованого варіанту, для якого $\mu = 0$.

В нашому випадку, при виборі агрегату для лущення стерні, найближчим до цілі є варіант Т-150К+ЛДГ-15. Аналогічно проводяться розрахунки по всіх операціях технологічної карти.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЛУЩЕННЯ СТЕРНІ З РОЗРОБКОЮ МАШИНИ

2.1. Розробка операційно-технологічної карти на виконання операції лушення стерні

Склад агрегату і його техніко-економічні показники

Однією з основних умов забезпечення високої продуктивності при мінімальній витраті палива з урахування агротехнічних вимог, є правильне комплектування агрегату.

Для лушення стерні використаємо агрегат у складі Т-150К+ЛДГ-15.

Робоча швидкість агрегату становить 8...12 км/год. Такий діапазон швидкостей забезпечує робота трактора Т-150К на передачах: Пр2п, Пр3п, Пр4п. Теоретична швидкість руху трактора на зазначених передачах відповідно становить: $v_1 = 8$ км/год, $v_2 = 9,5$ км/год і $v_3 = 12,5$ км/год. Передаточні числа трансмісії на цих передачах рівні: $i_{mp1} = 59,5$; $i_{mp2} = 50,1$; $i_{mp3} = 38,1$.

Визначимо дотичну сили тяги на вибраних передачах [6]:

$$P_d = \frac{9,554 N_e i_{mp} \eta_{mp}}{r_k n_n}, \quad (2.1)$$

де P_d – дотична сила на ободі колеса трактора, кН;

N_e – ефективна потужність двигуна, кВт (для трактора Т-150К $N_e = 121,5$ кВт);

i_{mp} – передаточне число трансмісії;

η_{mp} – коефіцієнт корисної дії трансмісії ($\eta_{mp} = 0,92$);

r_k – дійсний радіус кочення, м;

n_n – номінальна частота обертання колінчастого валу, об/хв ($n_n = 2100$ об/хв).

Дійсний радіус перекочування трактора можна визначити за формулою:

$$r_k = (r_o + h) \cdot \lambda \quad (2.2)$$

де r_o – радіус сталевго ободу колеса, м ($r_o = 0,305$ м);

h – висота шини, м ($h = 0,395$ м);

λ - коефіцієнт усадки шини ($\lambda=0,8$).

Тоді, $r_k = (0,305 + 0,395) \cdot 0,8 = 0,56 \text{ м}$

Отже, для вибраних передач дотичні сили будуть становити:

$$P_{\partial 1} = \frac{9,554 \cdot 121,5 \cdot 59,5 \cdot 0,92}{0,56 \cdot 2100} = 54 \text{ кН}$$

$$P_{\partial 2} = \frac{9,554 \cdot 121,5 \cdot 50,1 \cdot 0,92}{0,56 \cdot 2100} = 45,5 \text{ кН}$$

$$P_{\partial 3} = \frac{9,554 \cdot 121,5 \cdot 38,1 \cdot 0,92}{0,56 \cdot 2100} = 34,6 \text{ кН}$$

Дотична сила тяги трактора може бути прийнятою за рушійну силу в тому випадку, коли сила зчеплення його рушіїв з ґрунтом $F_{зч}$ є більшою або рівною дотичній силі. В протилежному випадку за рушійну силу трактора приймають силу $F_{зч}$, яку можна визначити за формулою:

$$F_{зч} = \mu \cdot G_{тр} \cdot \varphi, \quad (2.3)$$

де μ - коефіцієнт зчеплення рушіїв з ґрунтом ($\mu = 0,5$);

$G_{тр}$ – вага трактора, кН (вага трактора Т-150К $G_{тр} = 80$ кН);

φ - коефіцієнт, що враховує зчипну вагу трактора ($\varphi = 1$).

Тоді, $F_{зч} = 0,5 \cdot 80 \cdot 1 = 40 \text{ кН}$.

Таким чином, для першої і другої передач рушійною силою є сила зчеплення рушіїв трактора з ґрунтом, а для третьої – дотична сила тяги.

Номінальне тягове зусилля трактора можна визначити за формулою:

$$P_{TH} = P_{руш} - f_{\phi} \cdot G_{тр} - i \cdot G_{тр}, \quad (2.4)$$

де $P_{руш}$ – рушійна сила агрегату, кН;

f_{ϕ} – коефіцієнт опору коченню трактора на даному ґрунтовому агрофоні ($f_{\phi}=0,1$);

i – нахил місцевості.

$$P_{TH1} = P_{TH2} = 40 - 80 \cdot 0,1 - 80 \cdot 0,02 = 30,4 \text{ кН}$$

$$P_{TH3} = 34,6 - 80 \cdot 0,1 - 80 \cdot 0,02 = 25 \text{ кН}$$

Визначимо робочі швидкості трактора на вибраних передачах:

$$v_p = 0,377 \cdot \frac{n_d \cdot r_k}{i_{mp}} \cdot \left(1 - \frac{\delta}{100}\right) \quad (2.5)$$

де n_{δ} – фактична частота обертання колінчастого вала двигуна, об/хв,
 δ – буксування ведучого механізму, % (для $P_{mn}=30,4$ кН $\delta=14\%$, для $P_{mn}=25$ кН $\delta=9\%$).

В умовах достатнього зчеплення $n_{\delta}=n_n$, а в умовах недостатнього зчеплення фактична частота обертання колінчастого вала двигуна визначається за формулою:

$$n_{\delta} = n_n + (n_{xx} - n_n) \cdot \frac{P_{\delta} - P_{зч}}{P_{\delta}}, \quad (2.6)$$

де n_{xx} – макс. частота обертання колінчастого вала на холостому ходу, об/хв.

$$n_{\delta 1} = n_n + (n_{xx} - n_n) \cdot \frac{P_{\delta 1} - P_{зч}}{P_{\delta 1}} = 2100 + (2280 - 2100) \cdot \frac{54 - 30,4}{54} = 2179 \text{ об / хв}$$

$$n_{\delta 2} = n_n + (n_{xx} - n_n) \cdot \frac{P_{\delta 2} - P_{зч}}{P_{\delta 2}} = 2100 + (2280 - 2100) \cdot \frac{45,5 - 30,4}{45,5} = 2156 \text{ об / хв}$$

Отже, робочі швидкості трактора на вибраних передачах становлять:

$$v_{p1} = 0,377 \cdot \frac{n_{\delta 1} \cdot r_k}{i_{mp1}} \cdot \left(1 - \frac{\delta}{100}\right) = 0,377 \cdot \frac{2179 \cdot 0,56}{59,5} \cdot \left(1 - \frac{14}{100}\right) = 6,6 \text{ км / год},$$

$$v_{p2} = 0,377 \cdot \frac{n_{\delta 2} \cdot r_k}{i_{mp2}} \cdot \left(1 - \frac{\delta}{100}\right) = 0,377 \cdot \frac{2156 \cdot 0,56}{50,1} \cdot \left(1 - \frac{14}{100}\right) = 7,8 \text{ км / год},$$

$$v_{p3} = 0,377 \cdot \frac{n_{\delta 3} \cdot r_k}{i_{mp3}} \cdot \left(1 - \frac{\delta}{100}\right) = 0,377 \cdot \frac{2100 \cdot 0,56}{38,1} \cdot \left(1 - \frac{9}{100}\right) = 10,6 \text{ км / год}.$$

Визначимо питомий тяговий опір луцильника на вибраних передачах за формулою:

$$k = k_0 \cdot \left[1 + (v_p - v_0) \cdot \frac{\Delta_0}{100}\right] \quad (2.7)$$

де k_0 – питомий опір луцильника при швидкості руху 5 км/год;

v_p – робоча швидкість руху агрегату, км/год.;

v_0 – швидкість руху луцильника, при якій визначають k_0 ($v_0 = 5$ км/год);

Δ_0 – коефіцієнт, що характеризує темп приросту опору при підвищенні швидкості руху на 1 км/год від початкового значення v_0 , % (для луцильника $\Delta_0=5\%$).

Питомий опір луцильника на вибраних передачах буде рівний:

$$k_1 = k_0 \cdot \left[1 + (\nu_{p1} - \nu_0) \frac{\Delta_0}{100} \right] = 1,5 \cdot \left[1 + (6,6 - 5) \cdot \frac{5}{100} \right] = 1,6, \text{ кН/м},$$

$$k_2 = k_0 \cdot \left[1 + (\nu_{p2} - \nu_0) \frac{\Delta_0}{100} \right] = 1,5 \cdot \left[1 + (7,8 - 5) \cdot \frac{5}{100} \right] = 1,7 \text{ кН/м}.$$

$$k_3 = k_0 \cdot \left[1 + (\nu_{p3} - \nu_0) \frac{\Delta_0}{100} \right] = 1,5 \cdot \left[1 + (10,6 - 5) \cdot \frac{5}{100} \right] = 1,9 \text{ кН/м}.$$

Визначимо тяговий опір агрегату:

$$R_a = k \cdot B_k + G_M \cdot i \quad (2.8)$$

де R_a – загальний тяговий опір агрегату, кН;

k – питомий опір луцильника на вибраних передачах, кН/м

G_M – експлуатаційна вага машини, кН ($G_M = 38,5$ кН);

B_K – ширина захвату агрегату, м ($B = 15$ м).

Тоді, тяговий опір агрегату на передачах становить:

$$R_{a1} = k_1 \cdot B_k + G_M \cdot i = 1,6 \cdot 15 + 38,5 \cdot 0,01 = 24,77 \text{ кН},$$

$$R_{a2} = k_2 \cdot B_k + G_M \cdot i = 1,7 \cdot 15 + 38,5 \cdot 0,01 = 26,27 \text{ кН}$$

$$R_{a3} = k_3 \cdot B_k + G_M \cdot i = 1,9 \cdot 15 + 38,5 \cdot 0,01 = 29,27 \text{ кН}.$$

Вважається, що агрегат складений правильно і раціонально обрахована робоча передача, якщо розрахований коефіцієнт використання тягового зусилля близький до допустимого, але не перевищує його. Допустимий коефіцієнт використання номінального тягового зусилля трактора Т-150К на операції дискування складає $\eta_{don} = 0,92$.

Визначимо коефіцієнт використання тягового зусилля трактора на передачах:

$$\eta_1 = \frac{R_{a1}}{P_{TH1}} = \frac{24,77}{30,4} = 0,81,$$

$$\eta_2 = \frac{R_a}{P_{TH}} = \frac{26,27}{30,4} = 0,86, \quad (2.9)$$

$$\eta_3 = \frac{R_{a3}}{P_{TH3}} = \frac{29,27}{25} = 1,17.$$

Із розрахунків видно, що агрегат доцільніше використовувати на передачі трактора ПрЗп, так як завантаження трактора буде близьке до номінального.

Розрахунок технічної продуктивності агрегату:

- Годинна

$$W_{p.год.} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_{pk} \cdot \tau \quad (2.10)$$

де B_p - робоча ширина захвату, м;

τ - коефіцієнт використання часу зміни;

Приймаємо $\tau = 0,81$.

$$W_{p.год.} = 0,1 \cdot 15,7 \cdot 8 \cdot 0,81 = 9,5 \text{ га/год.}$$

- Змінна

$$W_{p.зм.} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_{pk} \cdot T_p, \text{га/зм} \quad (2.11)$$

де T_p - чистий робочий час зміни:

$$T_p = T_{зм} \cdot \tau, \text{год} \quad (2.12)$$

$T_{зм}$ - час зміни, год; $T_{зм} = 7$ год.

$$W_{p.зм.} = 0,1 \cdot 15,7 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 0,81 = 66,3 \text{ га/зм.}$$

- Денна:

$$W_{pд} = W_{pгод} \cdot T_{д}, \text{га/д}, \quad (2.13)$$

де $T_{д}$ - тривалість робочого дня, год; $T_{д} = 4$ год.

$$W_{pд} = 9,5 \cdot 4 = 38 \text{ га/д.}$$

Визначення витрати палива на гектар виконаної роботи.

Витрата палива під час роботи агрегату залежить від енергоємності виконуваної операції, умов роботи й завантаження двигуна. Витрату палива робочим агрегатом найзручніше відносити до одиниці виконаної роботи (на 1 га).

Під час виконання сільськогосподарської операції двигун агрегату витрачає паливо на безпосереднє виконання роботи на самопересування

агрегата під час холостих переїздів і на поворотах та на холосту роботу двигуна під час зупинок.

Витрату пального на одиницю роботи визначають за формулою:

$$q = \frac{Q_p \cdot T_p + Q_x \cdot T_x + Q_o \cdot T_o}{W_{p.зм}} \quad (2.14)$$

де Q_p, Q_x, Q_o - приблизні норми годинної витрати палива на корисну роботу двигуна, холості повороти, холостої роботи відповідно;

T_p, T_x, T_o - час корисної роботи, холостих поворотів і холостої роботи двигуна відповідно.

Час корисної роботи, холостих поворотів і холостої роботи двигуна відповідно дорівнюють:

$$T_p = T_{зм} \cdot \tau_p, \quad (2.15)$$

$$T_x = T_{зм} \cdot \tau_x, \quad (2.16)$$

$$T_o = T_{зм} \cdot (1 - (\tau_p + \tau_x + \tau_{m.д})) , \quad (2.17)$$

де τ_p - коефіцієнти використання робочого часу;

τ_x - коефіцієнт використання на холосту роботу двигуна;

$\tau_{m.д}$ - коефіцієнт використання часу на технічний догляд при працюючому двигуні.

$$T_p = 7 \cdot 0,94 = 6,58 \text{ год},$$

$$T_x = 7 \cdot 0,03 = 0,21 \text{ год},$$

$$T_o = 7 \cdot (1 - (0,89 + 0,03 + 0,01)) = 0,49 \text{ год}.$$

Визначимо витрату пального на одиницю роботи під час операції дискування:

$$q = \frac{25 \cdot 6,58 + 14 \cdot 0,21 + 2,5 \cdot 0,49}{66,3} = 2,5 \text{ кг/Га}$$

Витрату палива на весь обсяг робіт визначаємо множенням витрати пального на обсяг:

$$G = q \cdot Q = 2,5 \cdot 110 = 275 \text{ кг} \quad (2.18)$$

де G - витрата пального на весь обсяг роботи, кг.

2.2 Огляд конструкцій дискових лушпильників і дискових борін (порівняльний)

За технологічними властивостями дискові знаряддя займають проміжне місце між плугами і розпушувачами. Дискові лушпильники (далі — лушпильники) і дискові борони (далі — борони) мають схожі робочі органи — диски сферичної або плоскої форми, однак відрізняються конструкцією батарей, встановленням дисків, регулюванням та призначенням.

Призначення і технологічні режими

Дискова борона: основний обробіток ґрунту на глибину 16...24 см під зернові та зернобобові, підготовка поля після лушення; застосовують при значній кількості рослинних решток (>3 т/га). Кут атаки дисків для борони зазвичай $15\text{--}25^\circ$; глибина заглиблення залежить від кута атаки й притисної сили.

Дисковий лушпильник: спеціалізований для лушення стерні і мілкого розпушення (8...16 см), подрібнення і загортання рослинних решток, боротьби з бур'янами; кут атаки дисків $25\text{--}35^\circ$ (для лушення), при використанні як борони зменшують до $15\text{--}25^\circ$.

Робочі органи та їх компоновка

Обидва типи використовують плоскосферичні або плоскі диски з загостреною кромкою; диски можуть бути суцільними або вирізними. Сучасні агрегати застосовують і спеціалізовані диски-подрібнювачі, загортачі, диски з наплавленням для зносостійкості.

Лушпильники: батареї дисків по 6–10 дисків на одній осі, інтервал між дисками 160–180 мм; батареї часто встановлені зі зміщенням (перекриваючі) для кращого подрібнення та рівномірного обробітку смуги.

Борони: батареї можуть бути як компактнішими, так і з більшим міждисковим інтервалом; застосовуються і різні схеми компоновки (з V-підрядним або перекриваючим встановленням) для глибшого перемішування шару.

Регулювання кута атаки і глибини

Кут атаки дисків регулюється механічно (тяги, важелі, переставні рамки) або гідравлічно; в лушпильниках типовий діапазон $25\text{--}35^\circ$ для активного підрізання стерні.

Глибина ходу дисків регулюється: обмежувачем ходу гідроциліндра, зміною стиску пружин, перестановкою повзунів/рамок, зміною баласту або притисної сили секцій. Для борін важливий великий запас притисної сили для заглиблення на важких ґрунтах.

Конструктивні вузли піднімання та секціонування

У сучасних машинах обох типів застосовують гідрофіковані секції (піднімання/опускання секцій гідроциліндром), шарнірні бруси, регульовані тяги. Це дає змогу транспортування великих ширин захвату та регулювання робочого положення секцій.

Лушильники мають особливі понижувачі/повзуни та рамки для точного встановлення глибини кожної батареї (позначені в шаблоні як понижувачі, повзуни, болти, шплінти тощо).

Опорні елементи і ходова частина

Обидва типи навісні/причіпні; широко поширені гідрофіковані причіпні агрегати (як ЛДГ-серія у шаблоні). Опорні колеса, бруси та рама розраховані на великі навантаження при роботі в умовах рослинних решток.

Борони частіше мають міцніші рами і більші зубчасті або важкі батареї для роботи на великій глибині.

Матеріали, підшипники, техобслуговування

Диски виготовляють з високовуглецевих/легованих сталей, часто з наплавленням робочої кромки; встановлюють довговічні підшипники закритого типу або картриджні підшипникові вузли для зменшення техобслуговування.

Лушильники та борони оснащують захистом від заклинювання (амортизатори, пружинні демпфери, шарніри) у секціях при попаданні на камені або важкі шматки.

Агрегатування і універсальність

Лушильники агрегуються з тракторами середньої потужності (приклади: МТЗ-80, ЮМЗ-6 у шаблоні) для смуг 3–6 м; сучасні борони — як навісні, так і напівпідвісні/причіпні для тракторів більшої потужності з захватами до 9–12 м і більше.

Багато сучасних комбінованих машин поєднують функції: секції дисків для лушення + ґрунтоущільнюючі або вирівнюючі органи для завершення операції.

Агротехнічні відмінності в експлуатації

Лушильник ефективніший для мульчування, подрібнення грубих стебел (кукурудза, соняшник), збереження вологи та зменшення ерозії; застосовують при меншій енерговитраті порівняно з оранкою.

Дискова борона краще формує більш рівномірний верхній шар при глибинному розпушенні, підходить для інтенсивної закладки органіки у шар ґрунту та підготовки під посів.

Конструктивно луцильники і борони близькі — і ті, і інші використовують батареї дисків, гідромеханізми піднімання секцій та регулювання кута атаки. Головна різниця — цільова технологія: луцильник оптимізований для мілкого/середнього луцення і подрібнення стерні (кути атаки більші, щільніша компоновка батарей), борона — для глибшого основного обробітку й інтенсивного перемішування ґрунту (більша маса, потужніша конструкція батарей). Обидва типи в сучасному виробництві оснащені зносостійкими дисками, гідрофікованими механізмами та вузлами, що полегшують регулювання і обслуговування

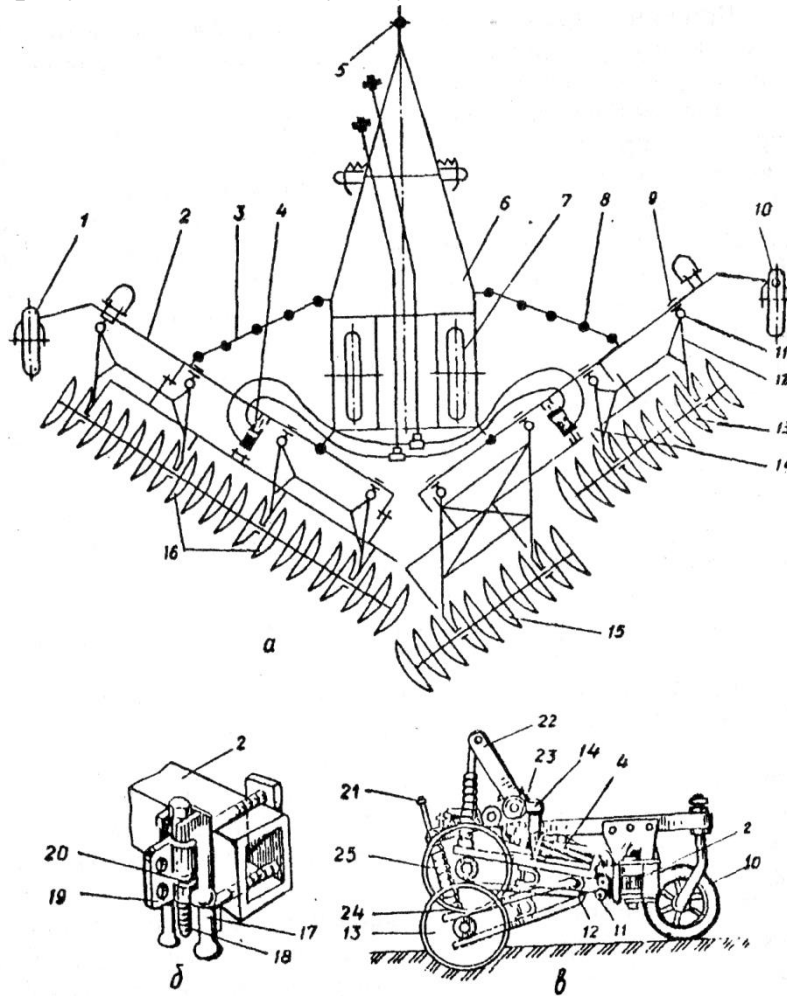


Рисунок 2.2 - Дисківий гідрофікований луцильник:

а — загальний вигляд; б — понижувач; в — механізм піднімання секцій; 1 і 10 — опорні колеса; 2 — брус; 3 і 8 — тяги; 4 — гідроциліндр; 5 — серга; 6 — рама; 9 — хомут; 11 — понижувач; 12 — рамка; 13 — батарея; 14 — труба підйому; 15 — перекриваюча батарея; 16 — диски; 17 — корпус понижувача; 18 — болт; 19 — повзун; 20 — регульовальна батарея; 21 — штанга; 22, 23 — важелі; 24 — шплінт; 25 — пружина.

Візьмемо для прикладу сучасний дисковий луцильник Lemken Rubin 9 (серія, типовий представник сучасних дискових луцильників) і детально опишемо його будову та основні вузли.

Загальна конструкція і призначення

Rubin 9 — напівпричіпний/причіпний дисковий луцильник/борона для обробітку стерні та поверхневого/середнього обробітку ґрунту (від мілкого лущення до 20–24 см залежно від комплектації). Призначений для подрібнення рослинних решток, підрізання і часткового перевертання скиби, вирівнювання поверхні та підготовки ґрунту під сівбу.

Рама та секціонування

Несуча рама — зварна конструкція великого перетину з високоміцної сталі; має основну балку, до якої шарнірно приєднані секції батарей дисків (дві або три секції в залежності від ширини захвату).

Секції дозволяють повторювати рельєф поля (плаваюче кріплення), мають шарнірні з'єднання та пружинні/гідравлічні амортизатори для захисту при наїзді на перешкоди.

При напівпричіпній схемі — центральна вісь ходової рами з колісним ходом для транспортування та опорою при руху по полю.

Робочі батареї (групи дисків)

Диски: сферично-опуклі (Convex/Notched або plain) діаметром 510–610 мм (варіюється за модифікацією), виготовлені з високовуглецевої/легованої сталі з термообробкою. Деякі варіанти — з наплавленням робочої кромки або з захисним покриттям.

Компоновка: батареї по 6–10 дисків на одній осі, інтервал між дисками ~160–200 мм; батареї розташовані у V-формі або з перекриттям для кращого перемішування.

Кут атаки: регульований механічно або гідравлічно (типово 20–35°), що дозволяє змінювати ступінь підрізання і перемішування.

Вали, підшипники і кріплення дисків

Вали батарей — суцільні або порожнисті осі з високоміцної сталі, закріплені в кронштейнах.

Підшипникові вузли — картриджні ущільнені підшипники або закриті роликові підшипники з пластиковими/металевими герметичними ковпаками для мінімального техобслуговування. Часто застосовують швидкозмінні картриджні підшипники.

Кріплення дисків — фланець/шайба з пружинними шайбами для компенсації навантажень; диски встановлені вільнообертовими, іноді з амортизаторами для запобігання заклинюванню.

Регулювання глибини і притиск

Централізована система регулювання глибини: гідравлічне піднімання/опускання секцій та регулювання робочої глибини через гідроциліндри з обмежувачами ходу.

Механічне або гідравлічне регулювання кута атаки батарей.

Притиск дисків реалізується пружинними/масивними баластними ящиками або додатковими гідроциліндрами; на важких ґрунтах застосовують додатковий баласт.

Ходова частина і транспортний механізм

Опорні колеса — для транспортування великої ширини захвату; у напівпричіпних моделях — підресорена ось з гальмівною системою (опційно).

Система складання/розкладання для перевезення — гідравлічна з фіксаторами.

Додаткові робочі органи і агрегатні опції

Передні подрібнювальні або ніжові зрізачі (stubble cutters) — для грубих стебел до первинного подрібнення.

Підгортальні або загортачі, вирівнювальні борони, прикочуючі або зубові котки в задній частині для ущільнення і вирівнювання.

Універсальні пакувальні котки (Cambridge, packer, ring-roller) — для закриття вологи й вирівнювання поверхні.

Система очищення дисків (скребки) — гумові/металеві скребки, регульовані за натягом.

Гідравліка та керування

Центральна гідросистема: гідроциліндри для підйому/опускання секцій, регулювання кута і тиску; управління з кабіни трактора.

Гідровиводи стандарту ISO зі зворотними клапанами; манометри/індикатори налаштування глибини (опційно електронні).

Дистанційне регулювання (вищі комплектації) — автоматичне підтримання глибини і кута атаки в залежності від рельєфу.

Матеріали і зносостійкість

Рама та несучі елементи — сталь S355 / обычные высокопрочные марки; місця підвищеного зносу мають змінні підсилювальні пластини.

Диски — термооброблена сталь, інколи з протиіржавим покриттям; підшипники з ущільненням та мастилом на ресурс 1000+ мотогодин.

Захисні елементи — відсікаючі щитки, облицювання, захист гідроліній.

Безпека й обслуговування

Амортизуючі елементи і запобіжні клапани (гідравліка) при зустрічі з перешкодою.

Швидкий доступ до підшипників і вузлів для огляду та заміни; сервісні точки мають мастильні ніпелі.

Інструкція по експлуатації з рекомендованими інтервалами техобслуговування (заміна мастила в підшипниках, перевірка скребків, огляд дисків).

Прикладні параметри (типові для моделі)

Ширина захвату: від 3 м до 9+ м (залежно від модифікації).

Діаметр дисків: 510–610 мм.

Робоча глибина: 4–24 см (залежно від режиму і комплектації).

Необхідна потужність трактора: від ~120 к.с. і вище (залежить від ширини й ґрунту).

Lemken Rubin 9 демонструє типову архітектуру сучасного дискового лушпильника: жорстка зварна рама з секціями, термооброблені сферичні диски у батареях з регульованим кутом атаки, гідрофіковане піднімання секцій, картриджні підшипники для довговічності, комплект додаткових органів (подрібнювачі, котки, загортачі) для закінчення операції. Все це забезпечує високу технологічність, зносостійкість і можливість точної підстроювання під агротехнічні вимоги.

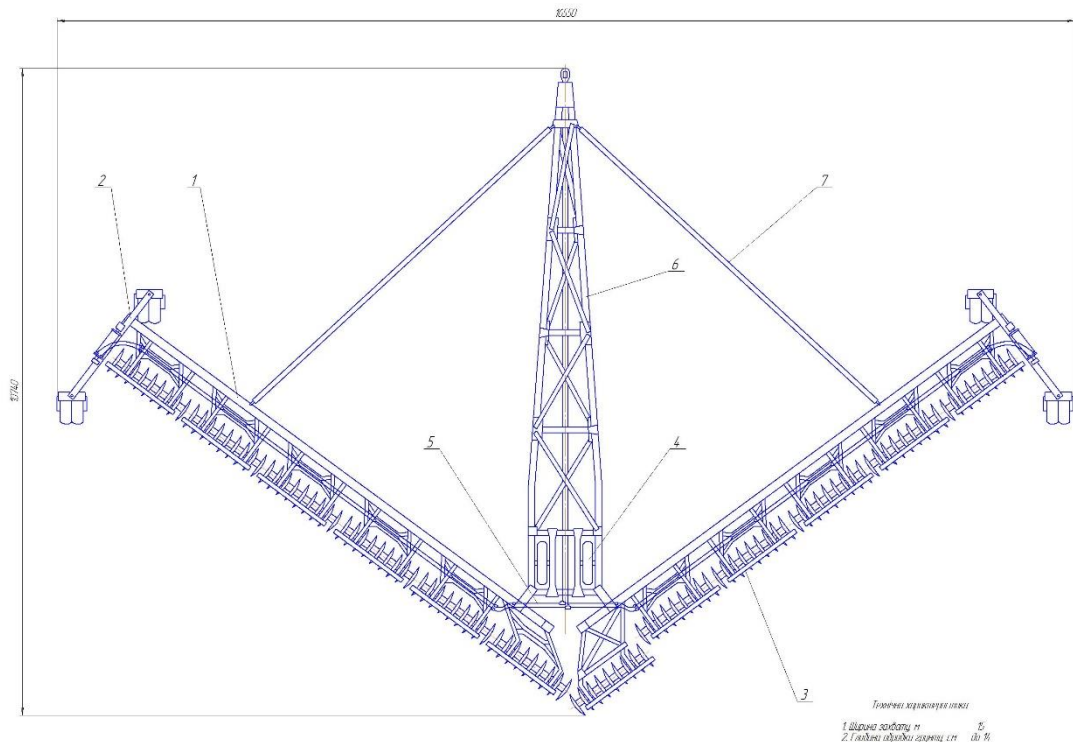


Рисунок 2.3 - Дисковий лушпильник ЛДГ-15А.

1 – брус, 2 – рама, 3 – батарея, 4 – колесо, 5 – тяга, 6 – рама, 7 – тяга

2.3 Опис удосконалення

Лушильник складається з двох лівих і двох правих робочих секцій, з'єднувача секцій, рами транспортних коліс, рами з причіпним пристроєм, опорних коліс. Ліві та праві робочі секції за будовою однакові.

Під час роботи машини (рисунок 2.3), диск обертається і вирізує з ґрунту скибу у вигляді сегменту, яка завдяки зчепленню з ґрунтом піднімається, ковзає та третється по поверхні диска, розпушується та частково перемішується.

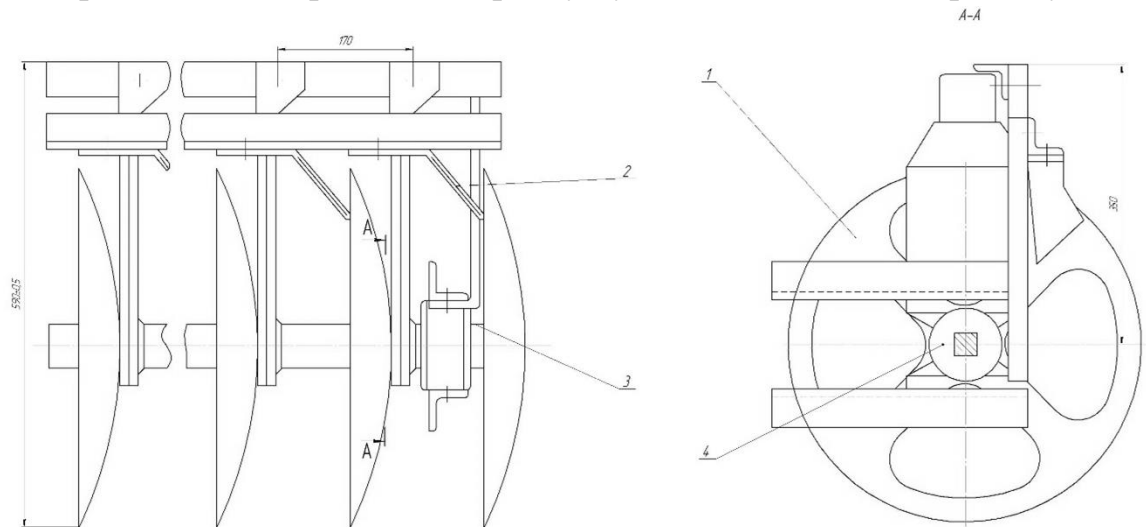


Рисунок 2.4 - Секція борони: 1 – диск, 2 – чистик, 3 – напівшпуля, 4 – корпус підшипника.

Недоліком відомих дисків при обробі ґрунту є значне перетирання ґрунту до пилових та аерозольних часток, що знижує якість обробітку, неповне підрізання смуги пласта і вегетуючих бур'янів та значна гребенистість поверхні поля.

Конструктивне удосконалення полягає в тому, що в сферичному диску ґрунтообробного робочого органа, частинами якого є сферичний сегмент, лезо, отвір для кріплення, сферичний сегмент виконаний з вирізами, що не виходять на лезо диска.

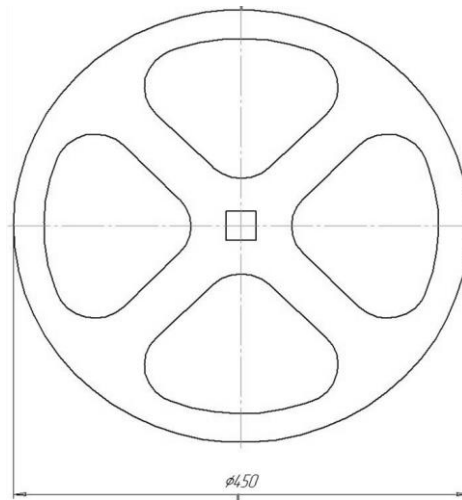


Рисунок 2.5 - Удосконалений диск дискового лушпильника.

Запропонований сферичний диск має такі переваги:

- а) збільшення якості обробки ґрунту завдяки зменшенню площі тертя ґрунту по сферичній поверхні диска, що зменшує появу пилових та аерозольних часток ґрунту;
- б) збільшення продуктивності внаслідок зменшення опору руху диска, що дозволяє збільшити швидкість руху знаряддя;
- в) збільшити ширину захвату знаряддя, особливо для навісних машин, за рахунок збільшення кількості установки дисків завдяки зниженню маси дисків;
- г) можливість інтенсивного перемішування поверхневого шару ґрунту за рахунок того, що в диску робочого органу є радіальні вікна;
- д) відсутність налипання ґрунту у внутрішній порожнині диска робочого органу з тієї ж причини;
- е) стабільність глибини обробки ґрунту за рахунок відсутності налипання грудок ґрунту в міждискових просторах;
- ж) підвищення якості обробки ґрунту за рахунок інтенсифікації її перемішування і за рахунок стабілізації глибини обробки поверхневого шару;
- з) зниження трудомісткості обслуговування робочого органу дискової борони за рахунок відсутності налипання грудок ґрунту в міждискових просторах.

Сферичний диск ґрунтообробного робочого органу складається з таких частин: сферичного сегмента 1, леза 2, отвору для кріплення 3, вирізів 4, що не виходять на лезо диска.

Диск працює наступним чином.

Під час руху диск обертається і вирізує з ґрунту скибу у вигляді сегмента, яка завдяки зчепленню з ґрунтом піднімається і ковзає по поверхні

робочого органа, розпушується і частково провалюється у вирізи на диску, чим забезпечується менша площа тертя ґрунту об робочу поверхню диска, зменшуючи цим появу пилових, аерозольних часток і тяговий опір руху знаряддя.

2.4 Розрахунок дискового луцильника

Загальною характерною особливістю для всіх дискових знарядь є те, що в процесі обробітку ґрунту робочі органи (сферичні диски), крім поступального руху разом з агрегатом, обертаються також навколо своєї осі (горизонтальної або нахиленої) під дією реактивного опору ґрунту.

Крім того, диски, здебільшого, встановлюють своєю площиною обертання під деяким кутом до лінії руху (до 20°).

Сферичний диск характеризується його діаметром D і радіусом сфери R , які пов'язані між собою залежністю:

$$D = 2 \cdot R \sin \sigma, \quad (2.20)$$

де σ - половина кута при вершині сектора $AIOIBI$.

На рис. 2.5 лінією $m-m$ позначений напрямок руху дискового робочого органу. Площина різальної кромки nn встановлюється під кутом α до напрямку руху агрегату. Кут установки дисків α визначає величину бокового зсуву, обороту і кришіння ґрунтової скиби. Збільшення кута α у луцильників сприяє також зменшенню висоти гребенів на дні борозни. Однак безмірне збільшення кута α може призвести до залипання дисків ґрунтом, тому що при $\alpha=45^\circ$ погіршується сходження скиби ґрунту з диска.

Діаметр диска в залежності від умов роботи необхідно вибирати найменшим із допустимих значень, тому що із збільшенням діаметру диска зростає навантаження, необхідне для заглиблення диска в ґрунт. Діаметр диска залежить від глибини обробітку ґрунту a , оскільки D і a пов'язані між собою залежністю:

$$D = k \cdot a, \quad (2.21)$$

де k – коефіцієнт: для луцильників $k=3-3,5$; для луцильників $k=5-6$.

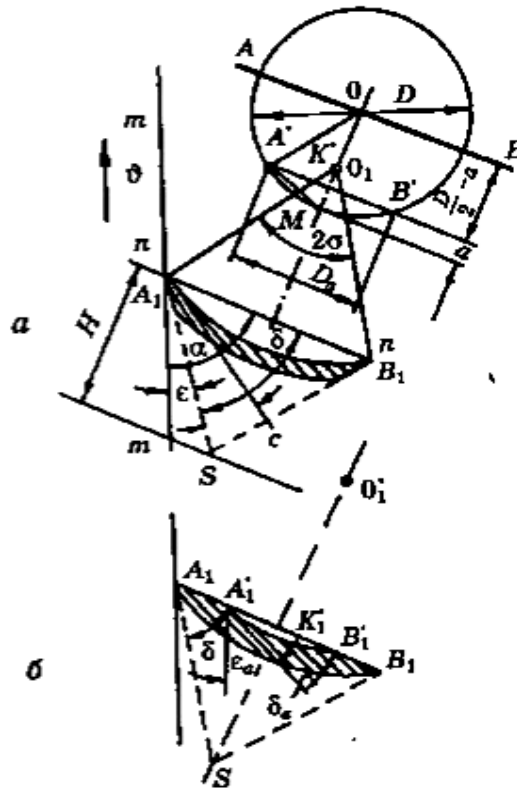


Рисунок 2.5 - Схема до розрахунків параметрів диска дискового луцильника

Головними геометричними характеристиками диска заданих розмірів, що визначають його працездатність на глибині a при установці під кутом α до лінії робочого руху, є такі: E — затильний кут на рівні горизонтального перерізу, що проведений на рівні діаметральної площини; δ — кут нахилу твірної конуса заточення до площини різальної крайки на рівні горизонтального діаметра, $E\theta$ — затильний кут на рівні горизонтального перерізу, проведеного на висоті a від нижньої крайки диска (на рівні глибини ходу диска); $\delta\theta$ — кут нахилу твірної конуса заточення до площини різальної кромки в перерізі, який проведений на висоті a від нижньої крайки диска (на рівні глибини ходу диска); δ_1 — кут загострення леза диска.

Для довільного перерізу диска горизонтальною площиною виконується таке співвідношення:

$$\alpha = \delta_a \pm E_a = \delta \pm E = \text{const} \quad (2.22)$$

Для забезпечення нормальної роботи диска на глибині необхідно, щоб затильний кут E_a був позитивним, $E_a > 0$. В іншому випадку, тобто при негативному значенні цього кута, диск буде спиратися тильною своєю стороною на дно борозни і буде намагатися викотитися на поверхню поля.

Досвід побудови дискових знарядь приводить до таких практичних вказівок: лушильників для дискових борін, культиваторів, співвідношення між глибиною ходу і діаметром диска встановлюється коефіцієнтом k , числові дані для якого наведені вище. Кут α установки площини леза диска до напрямку руху агрегату для лушильників $\alpha = 30 - 40^\circ$, для борін $\alpha = 15 - 20^\circ$. Кут загострення для різних знарядь коливається в межах $10-12^\circ \leq i \leq 25^\circ$.

У відношенні до затильного кута він повинен бути віднесений до хорди заглиблення D_a , і величина його для лушильників повинна складати $E_a = 3 - 5^\circ$, тому що диск обробляє ущільнений ґрунт. При негативному значенні цього кута диск, спираючись тильною частиною на дно борозни, викочується на поверхню поля.

У формулу (2.1), яка пов'язує параметри диска D і R , входять також кут σ , величина якого визначається різницею $\sigma = \alpha - (i + E)$, де $i + E = \gamma$ являє собою кут різання, причому всі ці кути віднесені до діаметрального перерізу диска. Отже, щоб скористатися формулою (3.1) для визначення радіуса R сфери:

$$R = D / [2 \sin(\alpha - \gamma)], \quad (2.23)$$

необхідно спочатку визначити кут $\gamma = i + E$.

Заданими величинами дискового лушильника, що проектується, є такі: $\alpha = 20^\circ$, $a = 8$ см, $E_a = 3^\circ$, $i = 15^\circ$.

Отже, для зменшення забивання лушильника ґрунтом приймаємо верхнє значення $k = 6$. Підставляючи значення k і a в залежність (2.2), визначаємо діаметр диска:

$$D = k \cdot a = 6 \cdot 8 = 480 \text{ мм.}$$

Внаслідок того, що такого розміру в стандарті на диски немає, приймаємо $D = 450$ мм, якому відповідає $k = 5,6$. Це цілком припустимо.

Кут δ_a в перерізі диска горизонтальною площиною на відстані a від дна борозни можна визначити за формулою:

$$\delta_a = \alpha - E_a = 20 - 3 = 18^\circ.$$

Визначаємо значення кута δ в екваторіальному перерізі диска:

$$\delta = \arctg \frac{k \cdot \tg \delta_a}{\sqrt{k} - 1} = \arctg \frac{5,6 \cdot \tg 3^\circ}{\sqrt{5,6} - 1} = 39^\circ 12'.$$

За формулою $\sigma = \delta - i$ визначимо кут σ :

$$\sigma = \delta - i = 39^{\circ}12' - 15^{\circ} = 24^{\circ}12'.$$

Визначаємо величину радіуса сфери R :

$$R = D / 2 \sin \sigma = 450 / 2 \sin 24^{\circ}12' = 557 \text{ мм.}$$

2.5 Розрахунок підшипників на довговічність

Розрахуємо довговічність підшипників вала на якому розміщені диски луцильника.

Основним розрахунковим параметром, що визначає працездатність підшипникової опори є фактична довговічність підшипника $L_{h\text{факт}}$ в годинах. Вона розраховується при частоті обертання рухомого кільця $n \geq 10$ об/хв. В нашому випадку частота обертання рухомого кільця при швидкості руху агрегату 10,6 км/год буде складати близько 113 об/хв. Необхідний час роботи підшипника 20000 год. Приймаємо попередньо роликовий радіально-упорний підшипник № 7212, у якого $d = 60$ мм, $D = 110$ мм, $B = 23$ мм, $\beta = 12^{\circ}$, $C = 72200$ Н - динамічна вантажопідйомність. Обидві опори приймають однакове навантаження тому розрахунок проведемо для одного підшипника, а другий підберемо аналогічно розрахованому.

Номінальна довговічність підшипника визначається за формулою:

$$L_n = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P} \right)^m \quad (2.24)$$

де n – частота обертів вала, об/хв;

C – динамічна вантажопідйомність підшипника;

P – еквівалентне навантаження, Н.

m – коефіцієнт форми тіла кочення, для роликових підшипників $m=3,33$.

Еквівалентне навантаження, для роликових радіально-упорних підшипників:

$$P = (V \cdot X \cdot F_r + Y \cdot F_a) \cdot K_o \cdot K_T, \quad (2.25)$$

де V - "коефіцієнт обертання кільця": при обертанні внутрішнього кільця $V = 1$;

F_r, F_a - радіальне і осьове навантаження на підшипник;

X, Y - коефіцієнти приведення F_r, F_a (для підшипника 7212, $X=0,4$, $Y=1,71$);

K_δ - коефіцієнт безпеки, залежить від умов роботи і серйозності наслідків аварії, викликаной відмовою підшипника (для умов роботи дисків $K_\delta=1,3$);

K_T - коефіцієнт температурного режиму (для $t_p < 100^\circ\text{C}$ $K_T=1,0$).

Визначимо радіальне та осьове навантаження на підшипник F_r, F_a .

Питомий опір дискових борін при швидкості руху $v_0=5$ км/год при роботі по пару: $k_0=2$ кН/м. Розрахована швидкість борони складає $v_p=10,6$ км/год, визначимо питомий опір борони на цій швидкості за формулою:

$$k = k_0(1 + (v_p - v_0)) \cdot \frac{\Delta\delta}{100}, \quad (2.26)$$

де $\Delta\delta$ – коефіцієнт, що характеризує темп приросту опору при підвищенні швидкості руху на 1 км/год від початкового значення v_0 , %, (для дискових борін $\Delta\delta=7\%$).

Таким чином питомий опір дискової борони буде складати:

$$k = 2 \cdot (1 + (10,6 - 5)) \cdot \frac{7}{100} = 7,78 \text{ кН / м.}$$

Ширина захвату однієї дискової батареї складає $B_\delta=2$ м, тоді її опір буде дорівнювати:

$$F_\delta = B_\delta \cdot k = 2 \cdot 7,78 = 15,56 \text{ кН} \quad (2.27)$$

Навантаження, яке буде припадати на один підшипник буде складати половину загального навантаження на дискову батарею, тобто $F=7780$ Н.

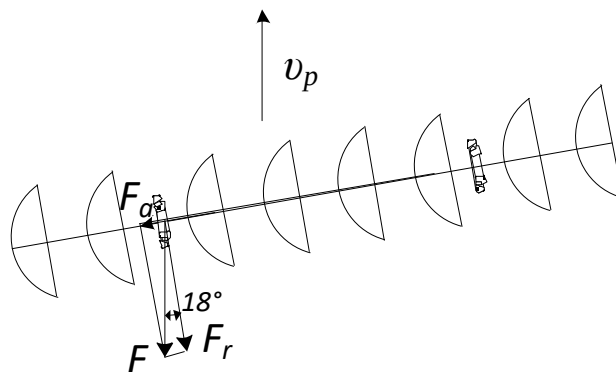


Рисунок 2.5 - Розрахункова схема до визначення навантажень на підшипники.

Знайдемо радіальне та осьове навантаження на підшипник:

$$F_r = F \cdot \cos 18 = 7780 \cdot \cos 18 = 7399 \text{ Н}, \quad (2.28)$$

$$F_a = F \cdot \sin 18 = 7780 \cdot \sin 18 = 2404 \text{ Н}. \quad (2.29)$$

Повні реакції в підшипникових опорах викликають окрім радіальних реакцій F_r і осьові реакції S . Поняття осьової реакції S в підшипнику і осьового навантаження F_a – не ідентичні. Осьова складова реакція S повної реакції залежить тільки від параметрів опори: повної реакції, куту контакту β і виду тіл кочення (ролики - кульки). Осьове навантаження F'_a залежить від співвідношення осьових складових S і зовнішньої осьової сили F_a , прикладеної до вала.

Перш, ніж визначати осьові навантаження F'_a , необхідно визначити осьові складові реакцій в опорах S . Для роликових підшипників з конічними роликами осьова реакція:

$$S = 0,83 \cdot e \cdot F_r = 0,83 \cdot 0,35 \cdot 7399 = 2149 \text{ Н.} \quad (2.30)$$

де e – параметр осьового навантаження підшипника, (для підшипника 7212 $e=0,35$).

Загальне осьове навантаження F'_a буде дорівнювати:

$$F'_a = F_a - S = 2404 - 2149 = 255 \text{ Н.} \quad (2.31)$$

Тоді еквівалентне навантаження буде рівним:

$$P = (1 \cdot 0,4 \cdot 7399 + 1,71 \cdot 255) \cdot 1,3 \cdot 1 = 4414,4 \text{ Н.}$$

Номінальна довговічність підшипника:

$$L_n = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P} \right)^m$$

$$L_n = \frac{10^6}{60 \cdot 113} \left(\frac{72200}{4414,4} \right)^3 = 645307 \text{ год;}$$

Для нормальної роботи підшипника повинна виконуватись умова:

$$L_n > [L_n] \quad (2.32)$$

де $[L_n]$ – необхідна довговічність підшипника, год. Для даного випадку $[L_n] = 20000$ год;

$$L_n = 645307 \text{ год} > [L_n] = 20000 \text{ год;}$$

Умова виконується, отже приймаємо підшипник №7212.

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ

Відповідальність за стан охорони праці в підприємстві покладена на керівника господарства, у структурних підрозділах відповідальними є керівники підрозділів (головні спеціалісти).

В господарстві обладнано кабінет з охорони праці, розміром 26 м², в якому проводяться вступні інструктажі. Кабінет обладнаний стендами, плакатами, таблицями, які використовуються при проведенні навчання. Керівником кабінету є інженер по охороні праці, інженер-механік по спеціальності, стаж роботи на цій посаді – 10 років.

У виробничих підрозділах господарства обладнані куточки з охорони праці. На території цих підрозділів обладнані протипожежні щити з необхідним інвентарем та протипожежним інструментом.

В підприємстві, основні положення з питань охорони праці викладені в колективному договорі. Відповідно до цього договору, в підприємстві проводяться роботи по поліпшенню стану охорони праці, виділяються кошти на забезпечення робітників зайнятих на шкідливих роботах спеціальним харчуванням а також на придбання необхідної кількості засобів індивідуального захисту працюючих.

Враховуючи, що підприємство має багато споруд, то всі вони обладнуються блискавкозахистом, а також укомплектованими пожежними щитами. Також у кожній споруді є укомплектована інженером з охорони праці медична аптечка.

До роботи допускають лише технічно справні машини і знаряддя, що повністю відповідають вимогам безпеки. Нові, відремонтовані, а також машини, що тривалий час не працювали, допускають до роботи лише після їх обкатки і ретельної перевірки роботи всіх органів.

Причіпні і начіпні машини заздалегідь перевіряють і агрегатують лише з тим трактором, що зазначений у заводській інструкції машини.

На місце роботи агрегатів не допускають сторонніх осіб, які не мають відношення до технологічного процесу.

Основними причинами травматизму на підприємстві є:

1. Не дотримання вимог техніки безпеки.
2. Перебування на робочому місці у нетверезому стані.
3. Відсутність попереджувачих і забороняючих знаків і табличок.
4. Відсутність нової нормативно-технічної літератури.

На підприємстві розроблені плани-схеми розміщення автомобілів, тракторів, самохідних сільськогосподарських машин та інших технічних засобів механізації на спеціальних майданчиках, під навісами, у боксах тощо. Розроблений і затверджений план розміщення техніки із визначенням черговості й порядку евакуації під час пожежі.

Забороняється захаращувати приміщення і відкриті майданчики для стоянки автомобілів різними предметами і обладнанням.

Ремонтні майстерні, пункти технічного обслуговування та інші виробничі ділянки, де ремонтують і обслуговують сільськогосподарську техніку, обладнують засобами гасіння пожеж, а також на спеціальних щитах вивішують списки пожежних підрозділів, інструкції з пожежної безпеки.

Для запобігання пожежам і вибухам не допускається виникнення іскор. Підлогу влаштовують неспалиму, а все електричне обладнання у герметичному виконанні.

Підприємство має у достатній кількості ємностей з піском і пожежний резервуар для гасіння пожеж. Також є укомплектовані пожежні щити.

Не допускається розміщувати поряд із закритими стоянками техніки ковальські, термічні, зварювальні, фарбувальні та деревообробні відділення майстерень і машинних дворів.

Забороняється:

- встановлювати на відкритих майданчиках технічні засоби більше встановленої норми, утримувати автомобілі і трактори із не справними паливними системами, відкритими горловинами паливних та гідравлічних систем;
- зберігати паливо, за винятком палива, що міститься в баках паливної системи;
- залишати автомобіль або тракторний причіп з вантажем;
- заправляти поза встановленим місцем паливом трактори, автомобілі та інші технічні засоби;
- зберігати порожню тару від палива або інших горючих та легкозаймистих рідин;
- застосовувати відкриті джерела вогню для розігрівання двигунів, редукторів та інших систем;
- залишати у автомобілях і тракторах промаслені ганчірки;
- залишати автомобіль із увімкненим запалюванням.

Трактори, автомобілі та інша техніка мають надходити у майстерню із злитим паливом.

Забороняється застосовувати горючі і легкозаймисті рідини для миття деталей.

Нижче подано стислий аналіз ризиків та комплекс організаційно-технічних заходів для сільськогосподарського підприємства при роботі з ґрунтообробними агрегатами (дискові лушпильники, дискові борони, плуги тощо). Мета — підвищення безпеки, ефективності, довговічності техніки та зменшення витрат.

Короткий аналіз ризиків і проблем

Невідповідний підбір агрегатів під потужність трактора → підвищений знос, зростання витрат пального, ризик пошкоджень.

Неправильне налаштування (кут атаки, глибина) → погана якість обробітку, перевитрата пального, передчасний знос.

Неналежне техобслуговування підшипників, дисків, гідросистем → простої, великі ремонти.

Недотримання правил безпеки операторів → травми, аварійні ситуації.

Погана логістика робіт (час, черговість, погодні умови) → зниження якості, ущільнення ґрунту.

Несистемна документація й облік → складності з оптимізацією парку й плануванням ресурсів.

Екологічні ризики: ерозія, втрати вологи, неправильне використання у вологих умовах.

Організаційні заходи

Відповідальність і структура:

Призначити відповідальних: головний агроном (тактико-агротехнічні рішення), механізатор-майстер (ТЕХОБСЛУГОВУВАННЯ), інженер з безпеки (охорона праці).

Вести журнал відповідальностей із чітким розподілом завдань (день/тиждень/сезон).

Планування робіт:

Розробити річний і посезонний графік ґрунтообробних операцій з урахуванням сівоzmіни, строків посіву, прогнозу погоди.

Створити щоденні та змінні маршрути агрегатів із зазначенням полів, глибин і режимів роботи.

Відбір техніки:

Вести типову матрицю агрегат–трактор за потужністю/типом ґрунту/шириною захвату; заборонити застосування агрегатів поза матрицею.

Проводити щорічну інвентаризацію і аналіз техстану (план заміни/модернізації).

Навчання та сертифікація персоналу:

Регулярні інструктажі з ОП і експлуатації перед сезоном; практичне навчання з налаштування кута атаки, глибини, баластування.

Періодичне підвищення кваліфікації (щонайменше раз на рік); ведення обліку допущених операторів.

Документація та облік:

Впровадити електронний журнал робіт: поле, агрегат, трактор, оператор, режими, витрата палива, витрати часу, коментарі.

Облік витрат на ЗІП та запасні частини; KPI по відмовам і простою.

Комунікація:

Організувати щоденні короткі наради (брифінги) перед початком робіт; канал зв'язку (рація/мобільний) для оперативного реагування.

Технічні заходи

Нормативи експлуатації:

Розробити стандартні операційні процедури (SOP) для кожного агрегату: перевірка перед виїздом, стартові налаштування, робочі режими, завершення роботи.

Регулярне техобслуговування:

Планово-попереджувальне ТО: щоденний огляд перед виїздом (кліпси, скребки, підшипники, гідролінії), міжсменний контроль, сезонне ТО (перевірка підшипників, мастило, перевірка швів рами).

Графік мастил, заміни фільтрів, натягу кріплень із контролем пробігу або мотогодин.

Налаштування і калібрування:

Стандартизовані налаштування кута атаки, інтервалів між дисками, глибини та притиску для різних типів ґрунту (підготовлені агрономом).

Використання регульовальних інструментів (рейки, лінійки, індикатори глибини).

Захист від забруднення/заклинювання:

Встановлення і технічне обслуговування скребоків, захисних щитків; інструкції щодо зупинки та очищення дисків.

Контроль зносу:

Вести картки з технічним станом дисків і підшипників; поріг заміни (мм зменшення діаметра або втрата кута/загостренності).

Баластування і налаштування маси:

Рекомендації щодо додаткового баласту в ящиках, використання притиску та налаштувань пружин для різних умов.

Транспорт і складання:

Перевірені процедури складання для транспортування; інспектування гальм і кріплень коліс.

Заходи з охорони праці та безпеки

Інструктажі ПОП: перед кожною зміною короткий інструктаж, щомісячний поглиблений інструктаж.

Засоби індивідуального захисту: каски, захисні окуляри, рукавиці, захисне взуття для механіків.

Зони безпеки: чіткі правила відстані від рухомих частин; маркування зон ризику на агрегатах.

Блокування для обслуговування: розробити процедурb Lockout-Tagout (вимкнення гідравліки, відключення тяги) під час ремонту.

ППЕ та аптечки, протоколи на випадок травм; номер відповідальної особи для виклику допомоги.

Запобігання перекидання/перевантаження: інструкції щодо швидкості руху, маневрування на схилах.

Екологічні заходи

Обмеження роботи при надмірній вологості ґрунту (щоб уникнути ущільнення).

Використання мульчування і котків для збереження вологості й профілактики ерозії.

Контроль сміття/рештків: уникати забивання і підвищеного зносу агрегатів.

План впровадження мінімальної обробки там, де можливо (відповідно до сівозміни).

Логістика запасних частин та ЗІП

Формування набору критичних запасних частин (підшипники, диски, скребки, гідролінії) для кожного агрегату.

Установлення мінімального рівня запасу і процедури поповнення.

Договірні відносини з постачальниками на пріоритетне постачання у сезон.

Моніторинг, контроль якості та КРІ

КРІ приклади:

Коефіцієнт простоїв техніки (% від робочого часу).

Середній інтервал між відмовами (MTBF).

Витрата пального на га.

Якість обробітку (відсоток площ із відповідною глибиною $\pm$ допустимий діапазон).

Регулярні звіти (щотижневі для сезону) з аналізом відхилень і коригувальними діями.

Періодичний аудит (щосезону) стандартів експлуатації й безпеки.

План впровадження (приблизний)

Підготовчий місяць (до сезону):

Інвентаризація техніки; складання матриці агрегат–трактор; закупівля критичного ЗІП; розробка SOP; навчання персоналу.

Перший місяць сезону:

Впровадження журналів робіт; щотижневі брифінги; налаштування і калібрування агрегатів на першому полі; запуск KPI-моніторингу.

Протягом сезону:

Планове ТО за графіком; коригування режимів за результатами звітів; аудит безпеки наприкінці кожного місяця.

Після сезону:

Сезонний аудит; аналіз KPI; план модернізації/інвестицій на наступний рік.

Розподіл ресурсів і орієнтовні витрати

Людські ресурси: 1-2 механізатори на агрегат, 1 майстер на зміни, 1 інженер/агроном для налаштувань.

Матеріали: запас підшипників і дисків (від 5 до 20 одиниць залежно від парку), мастило, гідрорідина.

Інвестиції: навчання персоналу, електронний журнал/ПЗ (опційно), базовий набір інструментів і діагностики. (Орієнтаційні суми залежать від масштабу господарства — підготую детальний кошторис за запитом.)

Короткі контрольні списки (для щоденного використання)

Перед виїздом: перевірити кріплення дисків, підшипники, скребки, гідролінії, рівень мастила, тиск у колесах, ППЕ оператора.

Після зміни: очистити диски, оглянути на тріщини, зафіксувати несправності в журналі, поповнити мастило (як потрібно).

Перед обслуговуванням: вимкнути гідравліку, встановити упори, застосувати ЛОТО-процедури.

3.1 Моделювання виробничих небезпек

Виробництво будь-якої продукції здійснюється завдяки функціонуванню певних елементів виробництва, які при відповідних поєднаннях між собою утворюють різні системи.

Найбільш типовою для виробництва є система людина-машина-середовище, бо саме при застосуванні численних машин та агрегатів, керованих людьми або людиною в певних умовах виробництва робоче місце, майданчик, споруда і виникають різні явища у вигляді відказів у функціонуванні.

Небезпечна дія – це така дія оператора, яка суперечить науково обґрунтованим нормам професійної поведінки при виконанні конкретного виробничого завдання. До небезпечних дій можна віднести порушення режиму роботи машини, технологічного обладнання, перевищення швидкості руху, різке гальмування або різкий поворот, несприятливе застосування засобів праці.

Небезпечні умови, це такі умови, за яких існує загроза дії на організм людини небезпечних виробничих чинників. Основним заходом запобігання нещасним випадкам має бути усунення небезпечних умов у процесі виробничої діяльності.

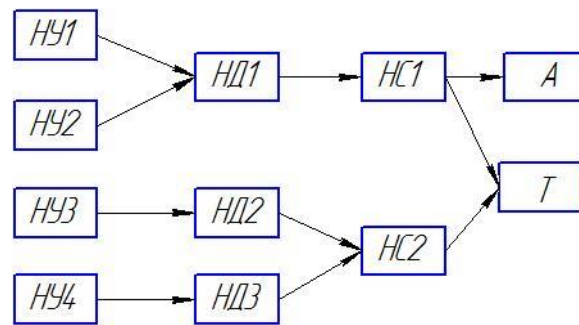


Рисунок 3.1 – Моделювання небезпечної ситуації під час виконання операції лушення стерні:

НУ1 – початок руху агрегату; **НУ2** – перешкода по ходу руху агрегату; **НУ3** – поломка дисків лущильника; **НУ4** – забивання робочих органів; **НД1** – маневрування; **НД2** – заміна зламаних дисків; **НД3** – очищення робочих органів; **НС1** – наїзд на людей; **НС2** – травмування працівника; **А** – аварія; **Т** – травма.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Основними критеріями економічної доцільності пропонованих розробок є такі: економія енергоносіїв або праці, зменшення собівартості продукції, збільшення рентабельності виробництва. Річний економічний ефект від зменшення приведених затрат.

В залежності від заданих у замовленні завданні даних на розробку проекту та прийнятого критерію, можливі такі постановки рішення задач економічного обґрунтування:

- розробка механізованого процесу (технології) за умови досягнення максимального прибутку при заданих обсягах виробництва;
- обґрунтування механізованої технології за сукупністю критеріїв (рівень рентабельності, собівартість, термін окупності тощо);
- обґрунтування річного обсягу та організаційних планів виробництва, що забезпечують найбільш ефективне використання машинно-тракторного парку;
- досягнення економічного ефекту від впровадження конструкторської розробки або удосконалення.

Для економічної оцінки нової технології з використанням розробленого агрегату застосовано порівняння прямих затрат для двох технологій, з використанням базового та удосконаленого луцильника ЛДГ-15.

Економічні показники, які характеризують ефективність застосування удосконаленої борони, визначали відповідно до стандартної методики.

Вихідні дані для розрахунків наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності
удосконаленого дискового лушильника

Показник	Лушення стерні ЛДГ-15А	Лушення стерні удосконаленим лушильником
Марка енергетичного засобу	Т-150К	Т-150К
Номінальна потужність двигуна енергозасобу, кВт	121,5	121,5
Вартість трактора, грн.	250000	250000
Річне завантаження трактора, год.	1600	1600
Сумарні відрахування на трактор (амортизація, ТО та поточний і капітальний ремонт), %	21,5	21,5
Вартість лушильника, грн.	78240	83640
Річне завантаження машини, год.	200	200
Сумарні відрахування на пристрій (амортизація, ТО та поточний та капітальний ремонт), %	21,5	21,5
Кількість обслуговуючого персоналу	1	1
Робоча швидкість агрегату, км/год	12	16
Продуктивність агрегату, га/год	6,4	8,6
Заробітна плата, грн./год.	11,32	11,32
Витрата палива, кг/га	4	2,8
Ціна палива, грн.	29,00	29,00

Складові витрати коштів на лущення стерні та їх суму наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Розрахунок показників економічної ефективності впровадження конструктивного удосконалення дискового лущильника

Показник	Варіанти		Відхилення
	Базовий варіант	Удосконалений варіант	
Затрати праці, люд.-год/га	0,16	0,12	- 0,04
Заробітна плата, грн./га.	1,76	1,32	- 0,44
Вартість палива, грн./га	80,00	56,00	- 24,00
Відрахування на реновацію та капітальний ремонт трактора та с.-г. машин, грн./га;	12,83	10,02	- 2,81
Відрахування на поточний ремонт та ТО трактора і с.-г. машин, грн./га.	5,56	4,34	- 1,22
Сумарні прямі експлуатаційні витрати, грн./га	100,15	71,68	- 28,47
Економія прямих експлуатаційних витрат на гектар насаджень, грн./га	28,47		
Річний економічний ефект, грн	3941,70		
Термін окупності капіталовкладень, років	1,4		

Застосування удосконаленого дискового лущильника для лущення стерні забезпечує економію коштів в порівнянні з базовим лущильником ЛДГ-15А 28,47 грн. на гектар.

Річний економічний ефект від застосування удосконаленого агрегату становить – 3941 грн/рік при обсязі робіт 110 га.

ВИСНОВКИ

Беручи до уваги географічне положення господарства та кліматичні умови, було та розраховано оптимальний склад МТП; розраховано, комплекс машин для виробництва кукурудзи на зерно з розробкою операційної технології лушення стерні.

Порівняння технології No-till та інтенсивної технології вирощування кукурудзи на зерно показало, що інтенсивна технологія забезпечує збільшення врожайності.

На підставі розрахунків встановлено, що для виконання робіт по виробництву кукурудза на зерно на площі 110 га необхідно мати 9 тракторів. Потреба в дизельному пальному на цей обсяг робіт складає 7754 кг.

Для виконання операції лушення стерні було визначено умови роботи агрегату, агротехнічні вимоги до виконання операції, розраховано техніко-економічні показники агрегата у складі Т-150К+ЛДГ-15. Агрегат повинен рухатись з робочою швидкістю руху близько 7,8 км/год. Для забезпечення якісного виконання операції необхідно налаштувати агрегат, підготувати поле. Відповідно до довжини гонів відбити загінки шириною 135 м. На основі отриманих даних складено операційно-технологічну карту.

Для забезпечення якісного лушення стерні удосконалено робочі органи дискового луцильника. Також розроблені додаткові заходи з охорони праці для операції лушення стерні.

Результати розрахунків економічної ефективності удосконаленого дискового луцильника показують, що запровадження її у виробництво дасть змогу одержати річний економічний ефект в сумі 3941,70 грн/рік на одну машину, а затрати на удосконалення окупляться протягом 1,4 років експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини / Д.Г. Войтюк, Г.Р. Гаврилюк. – К.: Вища школа, 2004. – 551 с.
2. Головчук А.Ф. Машиновикористання та екологія довкілля: підручник / А.Ф. Головчук, А.С. Лімонт,; за ред. А.Ф. Головчука. –К.: Грамота, 2007. — 360 с.
3. Головчук А.Ф. Машини сільськогосподарські / А.Ф. Головчук, В.І. Марченко, В.Ф. Орлов. - К.: Грамота, 2005. – 575 с.
4. Зінченко О.І. Рослинництво. – К.: Аграрна освіта, 2001. – 591 с.
5. Сучасні технології АПК: вирощування основних сільськогосподарських культур / Володимир Моргун, Віктор Швартау, Бернд Шульце, Клеменс Фукс, Йохайм Кастен, Олег Грикун, Микола Мостіпан, Віталій Снісаренко. – К.: ТОВ «Видавничий дім «Імпрес-Медіа», 2010. – 144 с.
6. Марченко В.І. Машиновикористання в землеробстві: навч. посіб. / В.І. Марченко, А.О. Яценко. – К.: Наук. Світ. 2006. – 372 с.
7. Комплексна механізація виробництва зерна / В. Д.Гречкосій, Д.М.Алімов, В.І.Кифоренко, П.М.Чайка; За ред. В.Д.Гречкосія. – К.: Урожай, 1991. –216 с.
8. Комплексна механізація виробництва зерна: Навчальний посібник / В. Д.Гречкосій, М.Я.Дмитришак, Р.В.Шатров та ін.. За ред. В.Д.Гречкосія. – Київ: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2012. –288 с.
9. Практикум з машиновикористання в рослинництві А.С.Лімонт, І.І.Мельник, А.С.Маличовський та ін. за ред. І.І.Мельника К. Кондор, 2004 - 282 с.
10. Типові норми на механізовані сільськогосподарські роботи.- 3-є вид., доп. і перероб. /Упоряд. Л.С.Пристапчук, О.Ф.Лук'янчук, В.М.Карпенко. – К.: Урожай, 1982. – 504 с.

11. Типові норми продуктивності машин і витрат палива на передпосівному обробітку ґрунту. – К.:НДІ «Укргропромпродуктивність», 2005.- 672 с.
12. Типові норми продуктивності машин і витрат палива на сівбі, садінні та догляді за посівами / В.В. Вітвіцький та інші – К.:НДІ «Укргропромпродуктивність», 2005.- 544 с.
13. Технології вирощування зернових і технічних культур в умовах Лісостепу України / за ред.. П.Т. Саблука, Д.І. Мазоренка, Г.Є. Мазнєва. – 2-ге вид., доп. – К.: ННЦ ІАЕ, 2008. – 720 с.
14. Технологічні карти та витрати на вирощування сільськогосподарських культур з різним ресурсним забезпеченням / за ред.. Д.І. Мазоренка, Г.Є. Мазнєва. – Харків. ХНТУСГ. – 2006. – 725 с.
15. Експлуатація машино-тракторного парку в аграрному виробництві. В.Ю.Ільченко, П.У.Карасьов, А.С.Лісовий та ін. за ред. В.Ю.Ільченка К. Урожай, 1993 - 286 с.
16. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини / Д.Г. Войтюк, Г.Р. Гаврилук. – К.: Вища школа, 2004. – 551 с.
17. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.. – К.: Вища освіта, 2005. – 463 с.
18. Працезохоронні засади у схемах, таблицях і графіках: Посібник / Укл. Войналович О.В. – К.: Основа, 2009. – 88 с.
19. Мельник І.І. Проектування технологічних процесів у рослинництві: Навчальний посібник / І.І. Мельник, В.Д. Гречкосій, С.М. Бондар; За ред. І.І. Мельника. – Ніжин: ТОВ “Видавництво Аспект-Поліграф”, 2005. – 192 с.