

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:**

«Удосконалення конструкції дискового лушпильника ЛДВ-3,0 з
обґрунтуванням параметрів робочих органів»

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,
групи ГМ-23М-1.2

ОНП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

_____ Плотніков Руслан Євгенійович

« ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Сергій ЛЕЩЕНКО

« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

_____ Іван ВАСИЛЕНКО

« ____ » _____ 2025 р.

м. Кропивницький

Зміст

1. Вступ.....	6
2. Інженерна частина	8
3. Наукова частина	41
4. Охорона праці	60
5. Економічна частина	62
6. Висновок	64
Список використаної літератури	66
Додатки	69

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ВСТУП

Україна стабільно входить до числа провідних держав світу за обсягами виробництва деяких сільськогосподарських культур, таких як соняшник, зернові, кукурудза та інші. Водночас, незважаючи на значні площі сільськогосподарських угідь, більшість аграрних підприємств через тривалі економічні труднощі, високу вартість сучасної техніки або її відсутність змушені обмежувати асортимент вирощуваних культур. Такий стан речей призводить не лише до відмови від сівозмін і виснаження ґрунтів, а й до занепаду окремих галузей, що функціонують у тісному зв'язку з агросектором. Саме тому актуальним стає завдання відновлення ефективних сівозмін, впровадження сучасних технологій вирощування продукції рослинництва, а також удосконалення окремих етапів їхнього агротехнологічного забезпечення. Ця проблема є особливо важливою для господарств Центральної України, адже щорічно спостерігається зниження рівня гумусу та ускладнені умови виробництва сільськогосподарської продукції.

Ключову роль у технологіях вирощування продукції рослинництва відіграє якісна підготовка ґрунту до проведення посівних робіт. Поверхневий обробіток спрямований на подрібнення брил, розпушення ущільненого ґрунту або, навпаки, його часткове ущільнення, боротьбу з бур'янами, неглибоке внесення добрив, руйнування ґрунтової кірки та реалізацію певних агротехнічних заходів (пропювання, підгортання, борознування для зрошення тощо).

Поширеним способом поверхневого обробітку ґрунту є луцення стерні попередника, зокрема з використанням сучасних агрегатів типу ЛДВ, що виготовляються Уманським заводом сільськогосподарського машинобудування. Цей агротехнічний прийом забезпечує збереження вологи, покращує структуру ґрунту, сприяє активізації мікробіологічної діяльності та

					УКЗК 00.000 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Плотніков</i>			<i>Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леценко</i>					6	69
<i>Реценз.</i>						<i>ЦНТУ, гр. ГМ-23М-1.2</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Мачок</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Васильковський</i>						

засвоєнню поживних речовин. Якість луцення стерні дисковим луцильником значною мірою залежить від вологості ґрунту, виду знаряддя та дотримання технології. Оптимальним є проведення луцення ґрунту за фізичної його стиглості при вологості 60...70% від повної вологоємності. Проведення операції в надто сухих або надмірно зволжених умовах може призвести до руйнування ґрунтової структури, утворення ущільненої підшви та зниження агрономічної якості обробітку.

Для досягнення заданих показників якості цієї технологічної операції доцільно проводити луцення під кутом до напрямку оранки – це сприяє кращому розпушенню і вирівнюванню ріллі. Основними критеріями якісного виконання операції є рівна поверхня, відсутність пропусків та огріхів, мінімальне розпилювання ґрунту та ефективне знищення бур'янів.

Одним із агрегатів, що широко використовується для вказаних цілей є важкий дисковий луцильник ЛДВ-3,0 з робочою шириною захвату 3 метри. Аналіз його конструкції та результати випробувань демонструють наявність ряду недоліків, які обмежують його ефективність, особливо на вологих і переущільнених ґрунтах.

У межах даної кваліфікаційної роботи запропоновано вдосконалити конструкцію дискового луцильника ЛДВ-3,0 з метою підвищення якості поверхневого обробітку ґрунту та провести експериментальну перевірку ефективності луцення вдосконаленим агрегатом.

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА

2.1. Опис операції луцнення, агротехнічні вимоги та розрахунок складу ґрунтообробного агрегату

Луцнення стерні за допомогою дискових знарядь виконується на глибину від 4 до 10 см, а при використанні лемішних агрегатів – на 6...12 см. Роботи проводяться упоперек напрямку руху зернозбиральної техніки з дотриманням швидкісного режиму, що не перевищує 10 км/год.

Допустиме відхилення середньої глибини обробітку становить не більше ± 2 см. Поверхня поля після обробки повинна бути рівною, без пропусків, а верхній шар ґрунту – добре подрібненим. У місці з'єднання середніх секцій батарей допускається розвальна борозна, яка не повинна перевищувати 8 см. Наявність необроблених ділянок поля під час луцнення стерні не допускається.

Вибір складу машинно-тракторного агрегату для луцнення стерні базується на підборі енергетичного засобу та вибір необхідного технічного оснащення, зокрема:

- вибір необхідної сили тяги;
- наявність у енергозасобу валу відбору потужності, гідросистеми та навісного обладнання;
- підбір крутного моменту на валу відбору потужності;
- вибір заданої ширина колії ведучих коліс.

Для забезпечення ефективної роботи луцильника ЛДВ-3 трактор повинен задовольняти вимоги щодо тягової потужності та мати адаптовану для цього агрегату навісну систему. Найчастіше луцильник ЛДВ-3 агрегується з енергетичними засобами тягового класу 1,4...2 т.

На ефективність обробки ґрунту (якість луцнення і боронування) та витрату пального впливають не лише характеристики агрегату, а й коректно підібраний режим роботи скомплектованого агрегату в полі.

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Операцію лушення стерні рекомендовано завершити впродовж 5 днів після збирання врожаю. Глибина обробки має становити 6...8 см за умови, що кут атаки дисків лушильника складає 35°.

Розрахунок кінематики лушильного агрегату в полі

Прийmemo, що важкий дисковий лушильник ЛДВ-3 буде працювати в агрегаті із енергозасобом МТЗ-80. Під час лушення стерні швидкість виконання робіт не повинна перевищувати $V_p = 11$ км/год; вага лушильника ЛДВ-3 складає $G_m = 10,65$ кН; вага трактора МТЗ-80 – $G_{mp} = 33,4$ кН, крім того, агрегат працює на полі з максимальним кутом його нахилу $i = 0,03$ а ґрунту за своїм складом є важким із питомим опором, що дорівнює $K = 2,3$ кН/м.

Оберемо робочі передачі агрегату, що розвиваються на відповідних швидкостях трактора та тягове зусилля на гаку енергозасобу, яке відповідає даним передачам. Для МТЗ-80 маємо:

$$\begin{aligned} V_m^{III} &= 9,56 \text{ км/год}; & P_{н.гак}^{III} &= 12,4 \text{ кН}; \\ V_m^{IV} &= 10,56 \text{ км/год}; & P_{н.гак}^{IV} &= 11,25 \text{ кН}. \end{aligned}$$

Знайдемо розрахункове значення тягового зусилля трактора враховуючи рельєф місцевості за формулою:

$$P_{гак} = P_{н.гак} - G_{mp} \cdot i,$$

де $P_{н.гак}$ – номінальне тягове зусилля, яке розвивається трактором на обраних робочих передачах, кН;

G_{mp} – вага трактора, як зазначено вище, для МТЗ-80, $G_{mp} = 33,4$ кН;

i – нахил місцевості на оброблюваному полі, $i = 0,03$.

Після підстановки числових значень в останню формулу отримаємо для кожної із робочих передач:

$$P_{гак}^{III} = 12,4 - 33,4 \cdot 0,03 = 11,3 \text{ кН};$$

$$P_{гак}^{IV} = 11,25 - 33,4 \cdot 0,03 = 10,24 \text{ кН}.$$

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Знайдемо максимально допустиму ширину захвату за тяговим зусиллям трактора, з якою даний агрегат працюватиме на обраних передачах, скориставшись залежністю:

$$B_{\max} = \frac{P_{\text{зак}}}{K + R_i},$$

де K – питомий опір ґрунтообробного агрегату, для дискового луцильника,
 $K = 2,3$ кН/м;

R_i – додатковий опір, який потрібно затратити агрегату під час подолання ним підйому, кН.

Цей додатковий опір можна визначити використовуючи формулу:

$$R_i = \frac{G_M}{B_K} \cdot i,$$

де G_M – вага сільськогосподарської машини, в даному випадку – дискового луцильника, $G_M = 10,65$ кН.

Враховуючи наведені величини, отримаємо:

$$R_i = \frac{10,65}{3,15} \cdot 0,03 = 0,101 \text{ кН/м};$$

$$B_{\max}^{\text{III}} = \frac{11,3}{2,3 + 0,071} = 4,7 \text{ м};$$

$$B_{\max}^{\text{IV}} = \frac{10,24}{2,3 + 0,071} = 4,3 \text{ м}.$$

Знайдемо кількість дискових борін, що працюватимуть в ґрунтообробному агрегаті за формулою:

$$n_c = \frac{B_{\max}}{B_K}.$$

Враховуючи раніше наведені дані маємо:

$$n_c^{\text{III}} = \frac{4,7}{3,15} = 1,49;$$

$$n_c^{\text{IV}} = \frac{4,3}{3,15} = 1,36.$$

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Із врахуванням того, що при роботі лушительника в полі під час проведення лушення і боронування виникають тимчасові перевантаження, а тому з метою забезпечення резерву тяги і збереження маневрових властивостей і на III і на IV робочих передачах агрегат буде працювати із одним лушительником.

Проведемо розрахунок тягового опору ґрунтообробного агрегату за формулою:

$$R_{agr} = (K + R_1) \cdot B_p \cdot n_c.$$

Після підстановки числових значень у формулу знайдемо значення тягового опору лушительника

$$R_{agr} = (2,3 + 0,01) \cdot 3,15 \cdot 1 = 7,56 \text{ кН.}$$

З метою знаходження коефіцієнту використання тягового зусилля енергетичного засобу на етапі лушення скористаємося залежністю:

$$\eta = \frac{R_{agr}}{R_{зак}}.$$

Після підстановки даних, коефіцієнт використання тягового зусилля для робочих передач дорівнює:

$$\eta^{III} = \frac{7,56}{11,3} = 0,7;$$

$$\eta^{IV} = \frac{7,56}{10,53} = 0,72.$$

Враховуючи проведені вище розрахунки і обґрунтування можемо знайти змінну продуктивність лушительника за відомою формулою:

$$W_{зм} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot T_p,$$

де B_p – робоча ширина захвату дискового лушительника, м;

V_p – робоча швидкість ґрунтообробного агрегату на етапі лушення стерні,
км/год;

T_p – чистий час роботи агрегату в полі, год.

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відомо, що технологічна ширина захвату дискового луцильника, так само як і дискової борони зазвичай є меншою за конструктивну ширину захвату. До цього ж ще й потрібно врахувати необхідність забезпечити під час виконання робіт в полі перекриття суміжних проходів ґрунтообробного агрегату. Для визначення технологічної ширини захвату агрегату можна використати відому рівність:

$$B_m = B_p \cdot \beta = 3,15 \cdot 0,97 = 3 \text{ м,}$$

де β – коефіцієнт, який враховує ефективність використання ширини захвату ґрунтообробного агрегату, прийmemo для дискового агрегату, $\beta = 0,95$.

Далі знайдемо робочу швидкість ґрунтообробного агрегату із врахуванням його пробуксовування в полі під час роботи, використовуючи залежність:

$$V_p = V_T \cdot \left(1 - \frac{\delta}{100}\right),$$

де V_T – теоретична швидкість роботи агрегату на обраних передачах трактора, км/год;

δ – коефіцієнт пробуксовування рушіїв в полі, під час обробітку ґрунту прийmemo $\delta = 5 \%$.

Підставивши цифрові значення отримаємо для обох робочих швидкостей трактора:

$$V_p^{III} = 9,56 \left(1 - \frac{5}{100}\right) = 9 \text{ км/год;}$$

$$V_p^{IV} = 10,56 \left(1 - \frac{5}{100}\right) = 10 \text{ км/год.}$$

З метою визначення чистого робочого часу скористаємося формулою:

$$T_p = T_{зм} \cdot \tau$$

де $T_{зм}$ – тривалість часу зміни на етапі виконання луцення стерні чи боронування дисковим агрегатом, прийmemo $T_{зм} = 8$ год.;

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

τ – коефіцієнт використання часу зміни, який напряму залежить від довжини гонів поля, на якому відбуваються ґрунтообробні операції, враховуючи, що поле має гони близько 1000 м, прийmemo $\tau = 0,82$.

Підставивши значення, отримаємо чистий час роботи агрегату в полі:

$$T_p = 8 \cdot 0,82 = 6,56 \text{ год.}$$

Отже, скориставшись проведеними розрахунками і обґрунтуваннями розрахуємо змінну продуктивність агрегату на різних швидкостях роботи трактора:

$$W_{зм}^{III} = 0,1 \cdot 3 \cdot 8,4 \cdot 6,56 = 16,5 \text{ га/зм;}$$

$$W_{зм}^{IV} = 0,1 \cdot 3 \cdot 9,3 \cdot 6,56 = 18,3 \text{ га/зм.}$$

Маючи змінну продуктивність можемо розрахувати витрати пального на обробіток 1 га площі поля за формулою:

$$Q_{га} = \frac{Q_{зм}}{W_{зм}},$$

де $Q_{зм}$ – змінна витрата палива під час роботи ґрунтообробного агрегату, кг/зм;

$W_{зм}$ – продуктивність агрегату за зміну роботи, га/зм.

В свою чергу, витрати палива за зміну роботи можна знайти за формулою:

$$Q_{зм} = Q_p \cdot T_p + Q_x \cdot t_x + Q_z \cdot t_z,$$

де Q_p – годинні витрати палива під час робочого ходу, для луцення,

$$Q_p = 16 \text{ кг/год;}$$

Q_x – годинні витрати при холостому ході ґрунтообробного агрегату,

$$Q_x = 10 \text{ кг/год;}$$

Q_z – годинні витрати палива при зупинках ґрунтообробного агрегату із працюючим двигуном, прийmemo $Q_z = 2 \text{ кг/год;}$

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{\text{ц}} = \frac{12 \cdot L_p}{10^2 \cdot V_p} + 2 \cdot t_n,$$

де L_p – довжина загінки на полі, де проводиться луцення дисковим луцильником (робоча), м;

V_p – робоча швидкість ґрунтообробного агрегату, прийmemo $V_p = 9,3$ км/год;

t_n – час, протягом якого ґрунтообробний агрегат проводить розворот в кінці загінки, для розрахунків прийmemo $t_n = 0,5$ хв.

Щоб визначити робочу довжину загінки в полі використаємо відому формулу:

$$L_p = L - 2 \cdot E,$$

де L – дійсна довжина загінки на даному полі, прийmemo $L = 1000$ м;

E – ширина на полі поворотної смуги, $E = 18$ м.

Підставивши дані, маємо:

$$L_p = 1000 - 2 \cdot 18 = 964 \text{ м.}$$

Враховуючи це, тривалість циклу роботи дискового луцильника становить:

$$T_{\text{ц}} = \frac{12 \cdot 1000}{100 \cdot 9,3} + 2 \cdot 0,5 = 13,9 \text{ хв.}$$

Таким чином, можемо розрахувати технічну продуктивність ґрунтообробного агрегату за один цикл обробітку ґрунту за формулою:

$$W_{\text{ц}} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot T_{\text{ц}} \cdot \tau.$$

Підставивши знайдені вище цифрові значення отримаємо:

$$W_{\text{ц}} = 0,1 \cdot 2,85 \cdot 9,3 \cdot 0,82 = 2,17 \text{ га/цикл.}$$

І на завершення, для побудови операційно-технологічної карти виконання операції луцення чи боронування дисковим луцильником визначимо кількість циклів робіт за зміну скориставшись залежністю:

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_{ц} = \frac{W_{зм}}{W_{ц}} = \frac{18,3}{2,17} = 8,43.$$

Прийmemo кількість циклів за зміну $n_{ц} = 9$ циклів.

Опис об'єкту модернізації

Відповідно до загальноприйнятої класифікації, дискові лушильники відносяться до однослідних знарядь. Однак в Україні промисловість виготовляє важкий дисковий лушильник ЛДВ-3,0, який за своїм конструктивним виконанням наближений до дискових борін. Це дозволяє йому виконувати в полі як лущення стерні, так і операції боронування.

Згідно з типовою класифікацією, дискові борони поділяються на легкі та важкі. Легкі борони, у свою чергу, поділяються на польові та садові. Польові застосовуються для обробітку поверхні поля після оранки, подрібнення великих грудок, лушення стерні та обробітку лугів із легким задернінням. Садові борони забезпечують обробіток у міжряддях плодових садів і виноградників, за умови, що ширина захвату дозволяє це робити. Глибина обробки при використанні легких борін зазвичай не перевищує 4...10 см.

Важкі дискові борони призначені для обробітку щільних, задернілих ґрунтів після оранки цілини або залежаних ділянок, а також при дискуванні заболочених територій, обробітку лугів, внесенні добрив та часткового подрібненні пожнивних решток. Глибина роботи важких борін може досягати до 20 см.

Основними конструктивними елементами дискових борін є сферичні опуклі загострені диски. Під час роботи такі диски зрізають тонкий шар ґрунту, подрібнюють його і частково переміщують убік, частково обертаючи ґрунтовий горизонт. Диски за своєю формою бувають суцільними та вирізними. Перші забезпечують м'який контакт із ґрунтом, мають низьку динамічну дію, що зменшує ступінь подрібнення. Щоб підвищити інтенсивність обробки, використовують вирізні диски – вони краще

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кромки дисків. Це призводить до різкого зростання тягового навантаження на агрегат і порушення його стабільної роботи. Фактично в полі диски втрачають здатність заглиблюватись у ґрунт і виконувати технологічний процес. У результаті такого негативного явища погіршується якість обробітки, зокрема рівномірність глибини, стабільність руху машини, а також формується нерівне дно борозни.



Рис. 1. Луцильник дисковий важкий ЛДВ-3,0



Рис. 2. Загальний вигляд скомплектованого агрегату із
луцильником ЛДВ-3,0

Аналіз конструктивних особливостей луцильника дискового важкого ЛДВ-3,0 показав наявність ряду недоліків. До основних можна віднести:

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

До основних вимог, що висуваються до поверхневого обробітку ґрунту у вигляді лушення чи боронування такі:

- дотримання заданої глибини обробітку в межах 6...10 см, при цьому допустиме відхилення не повинно перевищувати 1 см по всій площі поля;
- забезпечення повного суцільного обробітку агрегатом всього поля, пропуски, необроблені ділянки, огріхи та наявність незрізаних бур'янів на поверхні є неприпустимими;
- пошкодження посівів культурних рослин під час боронування упоперек рядкам не повинні перевищувати 3%;
- поверхня поля після обробки має бути рівною, з ґрунтом дрібногрудкуватої структури, де розміри грудок не перевищують 3...4 см.

Організація робіт з боронування чи лушення дисковими агрегатами на конкретній ділянці поля повинна включати такі види робіт:

- облаштування під'їздів до поля і виходів агрегату з нього;
- визначення необхідної кількості агрегатів, щоб виконати всі роботи по поверхневому обробітку упродовж 2...3 діб;
- проведення розбивання поля на ділянки, відповідно до кількості ґрунтообробних агрегатів;
- проведення маркування та огороження небезпечних місць;
- відтермінування обробки вологих ділянок поля до їх висихання.

Після завершення поверхневого обробітку ґрунту ефективність реалізації операцій оцінюють за такими ознаками:

- рівень розпушення верхнього шару ґрунту;
- якість вирівнювання поверхні поля та ступінь подрібнення ґрунту;
- відсотковий показник знищених бур'янів та (чи) якість лушення стерні попередника.

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технологічні розрахунки дискового луцильника ЛДВ-3,0

Основним робочим органом луцильника дискового важкого ЛДВ-3,0 є суцільні сферичні диски із гострими кромками. Під час роботи в товщі ґрунту саме сферичний диск забезпечує вирізання певного шару ґрунту, його інтенсивне кришення, обертання та відкидання в бік. Варто зазначити, що в батареях дисків серійного луцильника встановлено виключно сферичні диски із суцільним лезом (рис. 4).

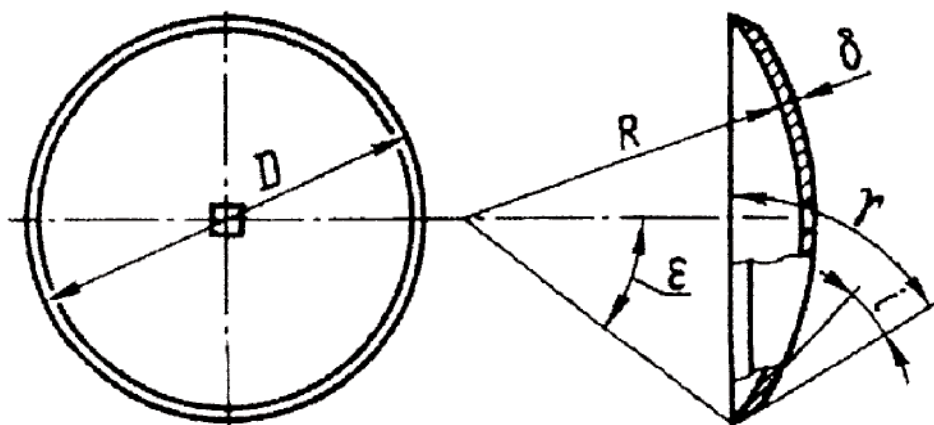


Рис. 4. Основні параметри сферичного диска луцильника із суцільним лезом

За результатами роботи луцильника із суцільними дисками можна виокремити таку важливу характеристику руху робочих органів під час виконання робіт – це їх плавність обертання. Крім цього і на задніх секціях менш навантажених порівняно із передніми секціями дискового луцильника теж встановлюються тільки сферичні диски із суцільним лезом.

Щоб розрахувати діаметр сферичного диска луцильника чи дискової борони скористаємося формулою:

$$D = k \cdot h_0,$$

де k – дослідний коефіцієнт, що враховує особливість роботи $k = 4...6$, для дискового луцильника прийmemo $k = 5$;

h_0 – глибина обробітку ґрунту дисковим агрегатом, прийmemo максимальну для дискового луцильника глибину, яка складає $h_0 = 100$ мм.

Підставивши цифрові значення, маємо ширину вирізу диска луцильника

$$E = \frac{3 \cdot 70}{2} = 105 \text{ мм.}$$

Для визначення кількості зубів на вирізному диску луцильника скористаємося залежністю, що має вигляд:

$$z = \frac{\pi \cdot D}{B + E} = \frac{3,14 \cdot 450}{70 + 105} = 8,07.$$

Оберемо кількість зубів на диску – $z = 8$ шт.

Щоб розрахувати відстань, яку потрібно забезпечити між дисками у батареї луцильника скористаємося формулою:

$$b \geq 2 \cdot \sqrt{h_2(D - h_2) \cdot \operatorname{tg} \alpha},$$

де h_2 – значення висоти гребенів на денній поверхні після (рис. 6) обробітку батареєю дискового луцильника, мм;

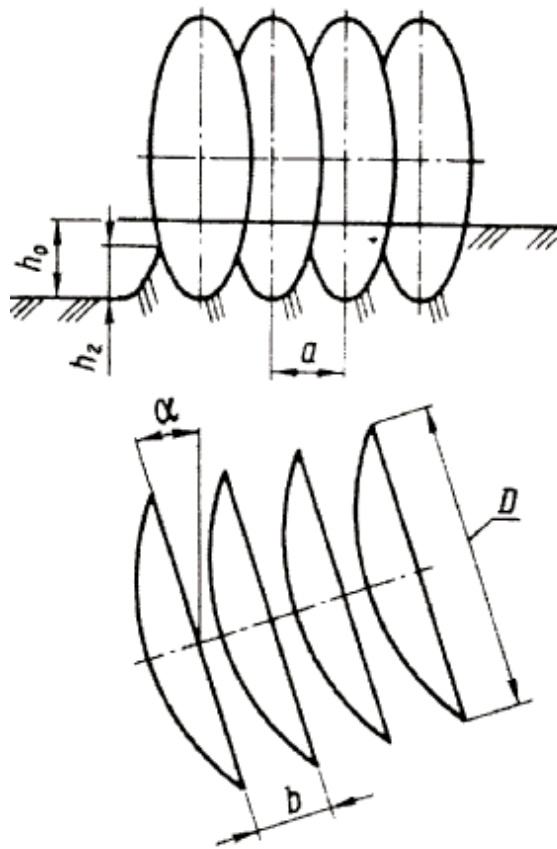


Рис. 6. Схема до визначення розташування дисків на батареї луцильника

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

α – максимальне значення кута встановлення дисків батареї луцильника (кут атаки диска луцильника), град.

Для визначення величини гребенів на дні борозни використаємо наступну нерівність:

$$h_z \leq 0,5 \cdot h_0 = 0,5 \cdot 100 = 50 \text{ мм.}$$

Враховуючи таку висоту гребенів і маючи інші величини, розрахуємо відстань між дисками у батареї луцильника, отримаємо:

$$b \geq 2 \cdot \sqrt{50(450 - 50) \cdot \operatorname{tg} 20} = 170,6 \text{ мм.}$$

Прийmemo конструктивно відстань між дисками в батареї дискового луцильника $b = 200$ мм.

Враховуючи проведені вище розрахунки, знайдемо загальну кількість дисків луцильника враховуючи максимальний кут атаки ґрунтообробного знаряддя за формулою:

$$z = \frac{B_p}{b \cdot \cos \alpha},$$

де B_p – робоча ширина захвату дискового луцильника, за інструкцією із експлуатації для ЛДВ-3,0, $B_p = 3000$ мм.

Після підстановки значень маємо:

$$z = \frac{3000}{200 \cdot \cos 20} = 15,96 \text{ шт, округлимо і прийmemo } z = 16 \text{ шт.}$$

Проведемо уточнення ширини захвату агрегату за максимального кута атаки дисків, маємо:

$$B_p = z \cdot b \cdot \cos \alpha = 16 \cdot 200 \cdot \cos 20 = 3007 \text{ мм.}$$

Якщо ж луцильник працюватиме із кутом атаки дисків 10° у такому випадку ширина його захвату буде дорівнювати:

$$B_p = z \cdot b \cdot \cos \alpha = 16 \cdot 200 \cdot \cos 10 = 3150 \text{ мм.}$$

Робоча ширина захвату модернізованого ґрунтообробного агрегату перевищує показник серійного дискового луцильника на 150 мм (що

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

становить 5%). Це дає підстави очікувати аналогічне збільшення загальної продуктивності вдосконаленого агрегату.

Обґрунтування функціональної схеми дискового двослідного луцильника

Враховуючи те, що одним із недоліків дискового луцильника ЛДВ-3,0 є складна конструкція рами (рис. 3), а сучасні підходи до проектування подібних знарядь підтвердили ефективність використання зварних консольних конструкцій ґрунтообробного агрегату, у даному випадку пропонується застосувати таку конструктивну схему (рис. 7).

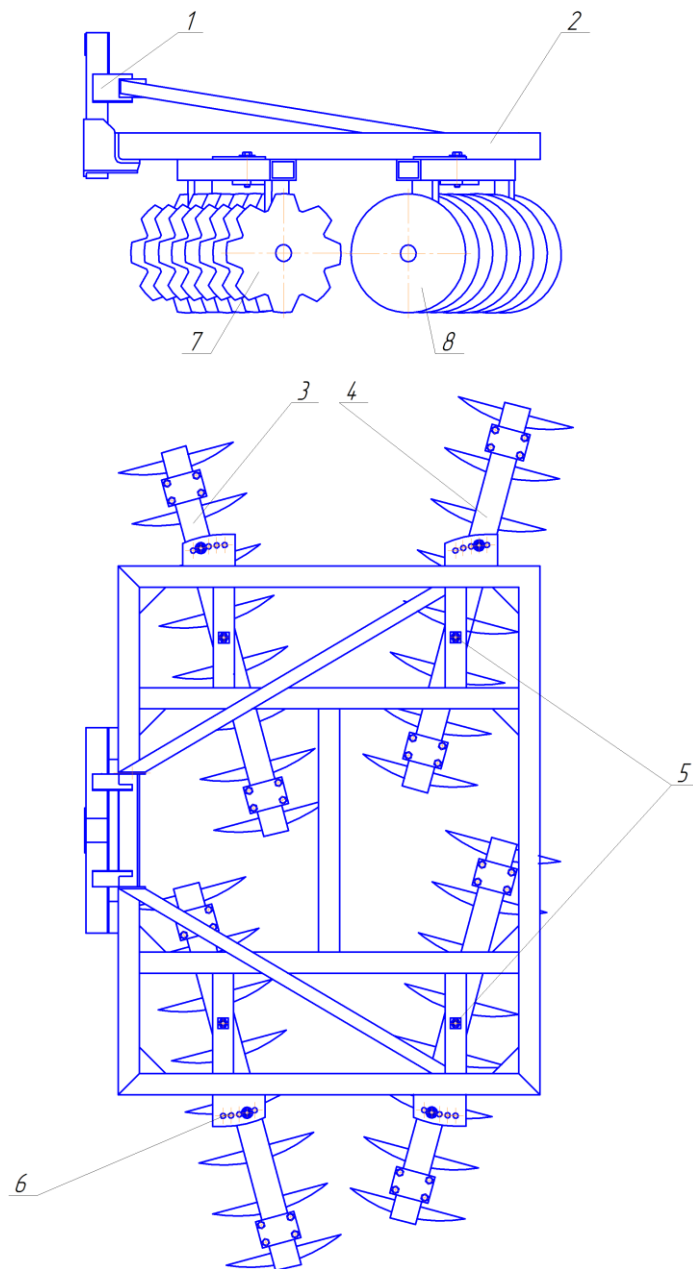


Рис. 7. Функціональна схема вдосконаленого дискового луцильника:

						УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
							27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

- 1 – механізм автонавіски; 2 – несуча рама зварної консольної схеми;
 3 – передня секція дисків; 4 – задня секція дисків; 5 – вісь регулювання
 положення батареї дисків; 6 – секційний регулятор кута атаки дисків;
 7 – диски сферичні вирізні; 8 – сферичні диски із суцільним лезом

Розрахунок поздовжньої стійкості ґрунтообробного агрегату

Під час роботи в полі скомплектованого агрегату у складі дискового
 лушпильника ЛДВ-3,0 і трактора, зокрема під час руху зазначеного агрегату,
 найбільш нестійкою є робота у транспортному положенні на підйом (рис. 8).

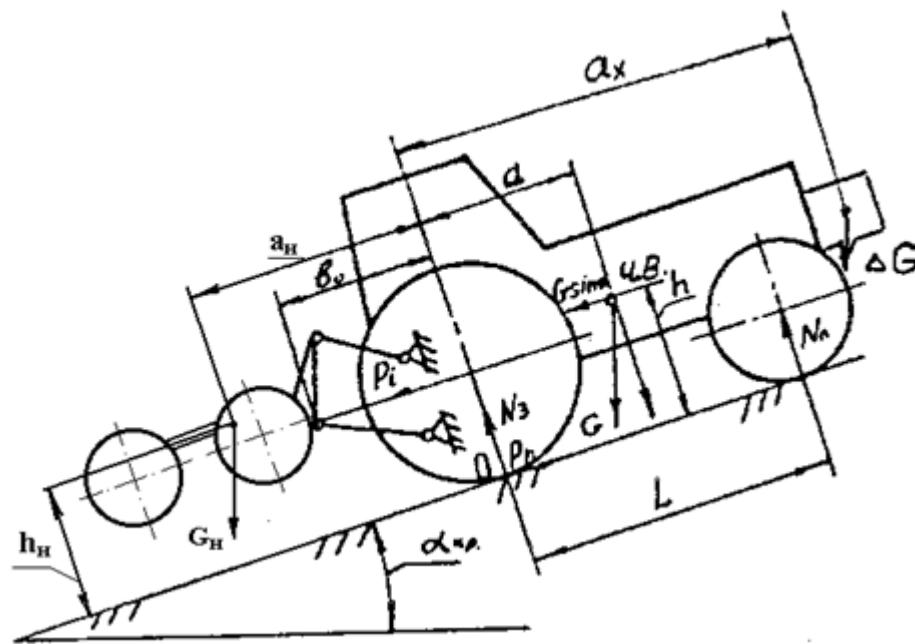


Рис. 8. Схема до руху ґрунтообробного агрегату на підйом

Для оцінки стійкості ґрунтообробного агрегату слід оцінити цю
 стійкість за коефіцієнтом запасу поздовжньої стійкості. Щоб умова стійкості
 була забезпечена потрібно, щоб виконувалася наступна нерівність:

$$x_n \leq 0,4,$$

де x_n – коефіцієнт запасу поздовжньої стійкості агрегату.

Щоб знайти коефіцієнт запасу поздовжньої стійкості можемо
 використати рівняння:

$$x_n = \frac{G_n \cdot a_n}{G_{mp} \cdot a_{mp}},$$

де G_n – сила ваги ґрунтообробного агрегату, для луцильника дискового важкого ЛДВ-3,0 – $G_n = 10,65$ кН;

a_n – координата (поздовжня) центру ваги ґрунтообробного агрегату, який переведено у транспортне положення, для ЛДВ-3,0 – $a_n = 1,25$ м;

G_{mp} – сила ваги енергозасобу, для трактора МТЗ-80, сила ваги $G_{mp} = 36$ кН;

a_{mp} – величина поздовжньої координати центра ваги енергозасобу, яка визначається по відношенню до осі приводних рушіїв, для МТЗ-80 – $a_{mp} = 0,724$ м.

Враховуючи наведені величини та після підстановки їх у останню формулу розрахуємо коефіцієнт поздовжньої стійкості, що складає:

$$x_n = \frac{10,65 \cdot 1,25}{36 \cdot 0,724} = 0,51.$$

Слід зазначити, що розраховане значення коефіцієнту поздовжньої стійкості агрегату не відповідає умовам стійкості, так як $x_n < 0,4$.

Щоб все ж таки умова стійкості агрегату в даному випадку була виконана проведемо навішування на передню навіску трактора МТЗ-80 баластного вантажу, який має вагу $\Delta G = 2,6$ кН. При цьому, відстань від центру мас до осі заднього колеса трактора буде рівною $a_x = 2,8$ м.

Таким чином, враховуючи навішений на трактор вантаж отримаємо такий коефіцієнт стійкості агрегату:

$$x'_n = \frac{G_n \cdot a_n}{G_{mp} \cdot a_{mp} + \Delta G \cdot a_x}.$$

Після підстановки цифрових даних маємо:

$$x'_n = \frac{10,65 \cdot 1,25}{36 \cdot 0,724 + 2,6 \cdot 2,8} = 0,399.$$

Таким чином, розрахунки підтверджують, що за умов роботи ґрунтообробного агрегату із довантажувачем на передню вісь умова стійкості буде виконуватися, адже $x_n < 0,4$.

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевіримо навантаження, що припадає на колеса енергетичного засобу. Щоб визначити навантаження, що припадає на передні колеса трактора скористаємося відомою формулою:

$$N_n = \frac{G_{mp} \cdot a_{mp} + \Delta G \cdot a_x - G_n \cdot a_n - f \cdot r(G_{mp} + G_n)}{L_{mp}},$$

де f – коефіцієнт перекошування енергозасобу по полю, що для роботи трактора по стерні складає $f = 0,1$;

r – радіус кочення задніх приводних рушіїв енергозасобу, для трактора МТЗ-80 – $r = 0,73$ м;

L_{mp} – розмір поздовжньої бази енергозасобу, для трактора МТЗ-80 – $L = 2,37$ м.

Після підстановки у останню формулу наведених та розрахованих вище цифрових значень, отримаємо:

$$N_n = \frac{36 \cdot 0,724 + 2,6 \cdot 2,8 - 10,65 \cdot 1,25 - 0,1 \cdot 0,73(36 + 10,65)}{2,37} = 7,01 \text{ кН.}$$

Розрахунки підтверджують, що знайдене розрахункове значення навантаження на передні рушії трактора є нижчим за допустиме, що складає $[N] = 12,0$ кН., а отже агрегат може за таких умов ефективно працювати.

Теж за відомою формулою розрахуємо навантаження на задні колеса ґрунтообробного агрегату:

$$N_3 = G_{mp} + \Delta G + G_n - N_n = 36 + 2,6 + 10,65 - 7,01 = 42,24 \text{ кН.}$$

Розрахунки доводять, що навантаження яке припадає на задні колеса перевищує на 25% допустиме $[N] = 33,7$ кН, а це значить, що транспортна швидкість руху агрегату має бути зниженою до 15 км/год.

Проведемо визначення критичного схилу, на якому зможе працювати агрегат використовуючи наступну формулу:

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\alpha_1 = \arctg \left(\frac{\left(\frac{a}{h} \right) \cdot (1 - x_n)}{1 + \delta_n} - f \right),$$

де h – значення вертикальної координати центру ваги енергозасобу, для трактора МТЗ-80 – $h = 0,821$ м;

δ_n – коефіцієнт зведеної ваги ґрунтообробного агрегату, який дорівнює

$$\delta_n = \frac{G_n}{G} = \frac{10,65}{36} = 0,296.$$

Після підстановки цифрових значень розрахуємо критичний кут схилу, який дорівнює:

$$\alpha_1 = \arctg \left(\frac{\left(\frac{0,724}{0,821} \right) \cdot (1 - 0,39)}{1 + 0,296} - 0,1 \right) = 17,48^\circ.$$

Визначення поперечної стійкості ґрунтообробного агрегату

Під час руху агрегату по пересічній місцевості де може бути поперечний нахил (рис. 9) може виникати небезпека бокового перевертання агрегату або ж бокового ковзання чи заносу цього ж ґрунтообробного агрегату.

Граничний кут нахилу поля під час виконання маневрів скомплектованим ґрунтообробним агрегатом може бути визначеним за відомою нерівністю:

$$\operatorname{tg} \alpha_2 < \frac{G_a^2 (B + b) - P_c \cdot \sqrt{G_a^2 (B + b)^2 + 4 \cdot (G_a^2 - P_c^2) \cdot h_c^2}}{2 \cdot (G_a^2 - P_c^2) \cdot h_c},$$

де G_a – сила ваги ґрунтообробного агрегату, кН, яка знаходиться за залежністю:

$$G_a = G_{mp} + G_m = 36 + 10,65 = 46,65 \text{ кН}$$

B – ширина колії енергетичного засобу, для трактора МТЗ-80 – $B = 1,35$ м;

b – приведена ширина коліс енергозасобу, м;

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Силовий розрахунок дискового луцильника

При роботі в товщі ґрунту дискового луцильника на опуклу частину сферичного диску та його лезо діє сила тиску ґрунту та сила тертя. Як і в інших подібних випадках, дію ґрунтового середовища на диск у проекція на осі координат розкладають на поздовжню R_x , вертикальну R_z та поперечну R_y складові реакцій ґрунту на робочий орган (рис. 10).

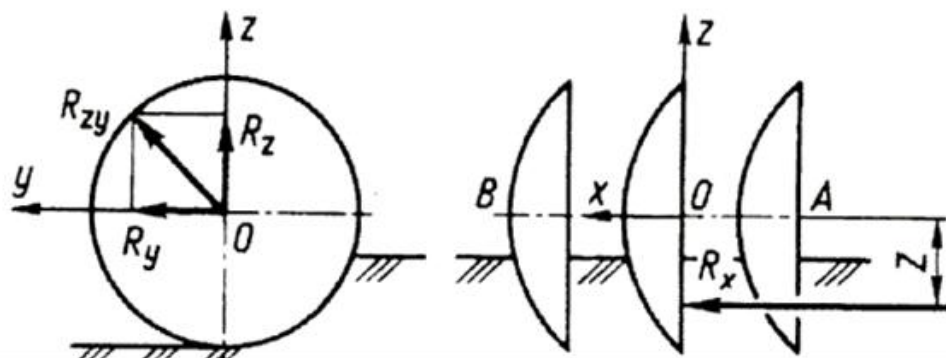


Рис. 10. Розрахункова схема дії сил на батарею дисків дискового луцильника

Варто зазначити, що опір ґрунту, що має побороти секція дисків під час її роботи в ґрунтовому середовищі з певним наближенням може бути представленим парою сил – R_x та R_{zy} , що прикладаються до сферичного диска, який розміщено по центру батареї. Цілком логічно, що сила R_{zy} діє в площині ZOY , а ця площина в точці O проходить крізь вісь обертання сферичних дисків. В свою чергу, сила R_x діє в площині ZOX та є паралельною до осі OX та знаходиться на певній відстані від цієї осі, що складає $Z \approx 0,5 \cdot (B - h_0)$. Крім цього, сила R_x забезпечує виникнення моменту M_y відносно осі OY , що дорівнює $M_y = R_x \cdot Z$. Саме цей момент M_y сприяє більш інтенсивному заглибленню у ґрунт передніх дисків A порівняно із задніми дисками B (рис. 10).

На етапі проведення силових розрахунків дискової секції луцильника початковою величиною є тяговий опір цієї секції, що можна визначити за формулою:

$$P_0 = q \cdot l,$$

									Арк.
									34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

де q – питомий опір агрегату на один метр його ширини захвату, для важкого дискового луцильника приймемо $q = 2$ кН/м;

l – ширина захвату однієї батареї дискового луцильника, м.

Для визначення ширини захвату батареї дискового луцильника скористаємося залежністю:

$$l = \frac{b \cdot z}{\cos \alpha} = \frac{0,2 \cdot 8}{\cos 20} = 1,7 \text{ м.}$$

Таким чином, після підстановки даних маємо тяговий опір секції луцильника:

$$P_0 = 2 \cdot 1,7 = 3,4 \text{ кН.}$$

Отже, після знаходження тягового опору розрахуємо сили R_{xy} , R_x та R_y , які будуть дорівнювати:

$$R_{xy} = \frac{P_0}{\sin(\alpha + \beta)} = \frac{3,4}{\sin(20 + 20)} = 6,4 \text{ кН.};$$

$$R_x = \frac{P_0 \cos \beta}{\sin(\alpha + \beta)} = \frac{3,4 \cdot \cos 20}{\sin(20 + 20)} = 6,28 \text{ кН.};$$

$$R_y = \frac{P_0 \cdot \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} = \frac{3,4 \cdot \sin 20}{\sin(20 + 20)} = 1,34 \text{ кН.},$$

де β – кут, який встановлюється між вектором сили R_{xy} та відповідно віссю батареї дисків OX . Відомо, що за умови, коли $\alpha = 15^\circ$ – кут $\beta = 24 \dots 40^\circ$, якщо ж $\alpha = 20^\circ$ – відповідно $\beta = 16 \dots 34^\circ$ та при $\alpha = 35^\circ$ – $\beta = 12^\circ$.

З метою найкращого заглиблення дисків у ґрунтове середовище слід щоб маса знаряддя та додаткових вантажів перевищувала у 1,2...1,5 рази середнє значення реакції ґрунту R_z , що складає:

$$R_z = m \cdot P_0 = 1,6 \cdot 3,4 = 5,44 \text{ кН,}$$

де $m = 0,9 \dots 1,6$.

										Арк.
										35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Враховуючи те, що в конкретному випадку вага дискового луцильника дорівнює 10,65 Н, співвідношення буде мати наступний вигляд:

$$\frac{G}{R_z} = \frac{10,65}{5,44} = 1,96.$$

Остання приведена залежність підтверджує, що під час роботи важкого дискового луцильника буде забезпечуватися надійне заглиблення дисків у ґрунт.

Розрахунок деталей і вузлів дискового луцильника на міцність

Секції дисків з обох боків фіксуються гайками, на які під час роботи агрегату в полі діють осьові сили, що виникають від зчеплення сферичних дисків із ґрунтом. Для розрахунку на міцність цього різьбового з'єднання наведено його схему на рис. 11. та виконаємо за стандартною методикою розрахунки на міцність.

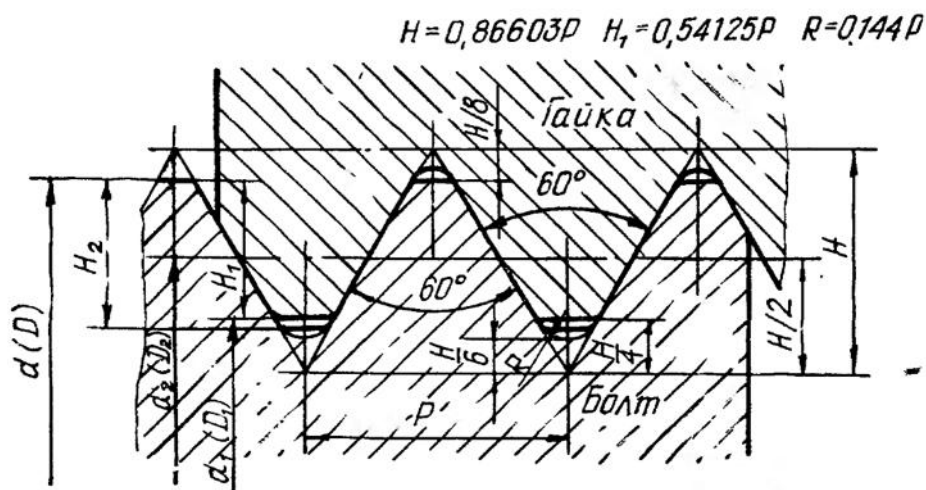


Рис. 11. Розрахункова схема різьбового з'єднання фіксації секції дисків луцильника

Вихідними даними до розрахунку на міцність різьбового з'єднання є:

- матеріал гвинта кріплення – Сталь 20, яка має $\sigma_T = 240$ МПа;
- матеріал гайки – Сталь 3, яка має $\sigma_T = 200$ МПа;
- значення осьового зусилля складає $R_x = 6,28$ кН.

Для розрахунку допустимого напруження для матеріалу гвинта використаємо формулу:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_T}{3} = \frac{240}{3} = 80 \text{ МПа.}$$

Аналогічним чином знайдемо допустиме напруження із врахуванням матеріалу із якого виготовляється гайка різьбового з'єднання:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_T}{3} = \frac{200}{3} = 66,6 \text{ МПа.}$$

З метою пошуку середнього діаметру різьби гайки можемо використати відоме рівняння:

$$d_2 = \sqrt{\frac{R_x}{\pi \cdot \psi_n \cdot \psi_h \cdot [q]}}$$

де R_x – осьове зусилля з'єднання, Н;

ψ_n – коефіцієнт поправочний, який для гайки суцільного виконання складає

$$\psi_n = 1,4;$$

ψ_h – коефіцієнт, який враховує профіль різьби, для трикутного профілю різьби гайки $\psi_h = 0,541$;

$[q]$ – середній допустимий тиск, що може бути у різьбі, $[q] = 5$ МПа.

Підставивши дані, маємо:

$$d_2 = \sqrt{\frac{6280}{3,14 \cdot 1,4 \cdot 0,541 \cdot 5}} = 22,2 \text{ мм.}$$

Прийmemo із певним запасом гайку із однозахідною різьбою М27.

Розрахуємо значення мінімальної висоти гайки, скориставшись залежністю

$$H_p = \psi_n \cdot d_2 = 1,4 \cdot 22,2 = 31,08 \text{ мм.}$$

Далі, обираючи із стандартних розмірів прийmemo для фіксації секції дисків гайку М27, яка має висоту 31,6 мм.

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наступний етап розрахунків на міцність – розрахунок підшипників секцій дисків луцильника. Для цього розрахунку приймемо наступні вихідні дані:

- осьове зусилля, що діє на секцію $R_x = 6,28$ кН;
- радіальне зусилля – $R_z = 5,44$ кН;
- максимальна робоча швидкість ґрунтообробного агрегату $V_p = 11$ км/год = 3 м/с;
- посадковий діаметр валу секції під підшипниковий вузол – 50 мм;
- діаметр сферичних дисків луцильника $D = 0,45$ м.

Знайдемо максимальну частоту обертання валу секції дискового луцильника, що обертається в даних підшипниках. На цьому етапі розрахунків слід врахувати, що привід на диски відбувається за рахунок їх тертя об ґрунт. Враховуючи це робоча частота обертання агрегату має прямий зв'язок із робочою швидкістю агрегату та діаметром сферичного диску, що можна описати залежністю:

$$n = \frac{60 \cdot V_p}{\pi \cdot D},$$

де V_p – робоча швидкість важкого дискового луцильника, $V_p = 3$ м/с;

D – діаметр сферичного диску луцильника, $D = 0,45$ м.

Підставивши дані маємо:

$$n = \frac{60 \cdot 3}{3,14 \cdot 0,45} = 127 \text{ об/хв.}$$

Оскільки на секцію дисків луцильника діють значні осьові та радіальні навантаження, доцільно використовувати радіально-упорні кулькові підшипники або конічні роликові підшипники.

Розрахуємо еквівалентне навантаження P , яке для радіально-упорного кулькового підшипника дорівнює:

$$P = X \cdot R_x + Y \cdot R_z.$$

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підходить, радіально-упорний кульковий підшипник 6310 (або конічний роликівий 32010X). Розрахункове навантаження зазначеного підшипника – 13,1 кН. Розрахований термін служби – понад 8000 годин, що відповідає вимогам польової експлуатації.

Короткі висновки за розділом

На основі виконаних інженерних розрахунків було проведено модернізацію луцильника дискового важкого ЛДВ-3,0, що включає наступні вдосконалення:

- сконструйовано нову жорстку зварну раму, яка забезпечила можливість роботи агрегату на підвищених швидкостях без зниження якості обробітку ґрунту;
- запропоновано чергування вирізних і гладких дисків на секціях луцильника, що в умовах підвищеної твердості ґрунтів забезпечує стабільну глибину обробки та покращене очищення поверхні від рослинних залишків;
- замість литих елементів були розроблені нові зварні стояки секцій, що дозволило знизити масу агрегату та скоротити використання покупних комплектуючих у виробничому процесі.

Запропоновані технічні рішення, на наш погляд, створюють необхідні умови для практичного впровадження вдосконаленого луцильника у серійне виробництво.

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. НАУКОВА ЧАСТИНА

На сьогоднішній день як вітчизняні, так і зарубіжні науковці здійснили велику кількість досліджень, присвячених вдосконаленню ґрунтообробної техніки, зокрема – дискових луцильників. Розроблено чимало математичних моделей і накопичено результати польових експериментів, спрямованих на вивчення динаміки взаємодії робочих органів із ґрунтовим середовищем, оцінку якості процесу обробітку ґрунту та енергетики проведення операцій. Слід зазначити, що в реальних умовах господарств оптимізація конструкцій та робочих параметрів таких агрегатів ускладнюється через неоднорідність ґрунтів, їхню вологість, наявність рослинних решток, а також рівень підготовки механізаторів. У зв'язку з цим важливого значення набувають експериментальні дослідження в реальних польових умовах із використанням як теоретичних напрацювань попередніх дослідників, так і сучасних напрямів розвитку конструкцій луцильників.

Мета дослідження: підвищення ефективності поверхневого обробітку ґрунту шляхом удосконалення конструкції важкого дискового луцильника та обґрунтування його основних параметрів і режимів роботи.

Об'єкт дослідження: процес взаємодії робочих органів важкого дискового луцильника з ґрунтом у реальних експлуатаційних умовах.

Предмет дослідження: конструктивно-технологічні параметри, що впливають на якість обробітку ґрунту та забезпечення стабільної глибини при роботі важкого дискового луцильника.

З огляду на сучасний стан техніки у сфері поверхневої обробки ґрунтів та на основі аналізу попередніх досліджень, у даній роботі ставляться наступні завдання:

- провести техніко-аналітичну оцінку існуючих конструкцій важких дискових луцильників та дискових борін та визначити їх переваги й недоліки;

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- сформувати напрям вдосконалення робочих органів і рами агрегату на основі виявлених проблемних місць;
- провести експериментальні дослідження модернізованої конструкції лушильника ЛДВ-3,0, обґрунтувати ефективність запропонованих змін та їх вплив на основні агротехнічні показники.

Види дискових лушильників і важких дискових борін, їх переваги, недоліки та напрямки модернізації

Дискові лушильники та важкі дискові борони є одними з найбільш поширених агрегатів для поверхневої та передпосівної обробки ґрунту. Зазначені агрегати забезпечують ефективне подрібнення пожнивних залишків, перемішування добрив, знищення бур'янів та часткове вирівнювання поверхні поля.

За існуючою класифікацією (таблиця 1) розрізняють дискові лушильники, середні та важкі дискові борони, які досить часто мають подібну будову та принцип роботи.

Таблиця 1

Класифікація ґрунтообробних агрегатів із робочими органами у вигляді сферичних дисків

Тип агрегату	Глибина обробітку	Призначення
Легкі лушильники	5...10 см	Лущення стерні, боротьба з падалицею
Середні дискові борони	10...15 см	Основна та передпосівна обробка
Важкі дискові борони	15...20 см і більше	Обробка цілинних земель, післякукурудзяних залишків

Основними перевагами дискових ґрунтообробних агрегатів, враховуючи і важкий дисковий лушильник ЛДВ-3,0, який обрано за прототип наступні:

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

- висока швидкість роботи (до 15–18 км/год);
- добре перемішування робочими органами ґрунту з рослинними рештками;
- простота обслуговування агрегату;
- можливість агрегування сільськогосподарських знарядь (дискових лушпильників та дискових борін) з тракторами середньої та великої потужності;
- можливість роботи на полях з великою кількістю органіки.

Серед основних недоліків дискових агрегатів можна виділити такі:

- схильність до забивання при підвищеній вологості ґрунту та рослинних решток;
- недостатня ефективність роботи на твердих, задернілих або сухих ґрунтах;
- потреба у високій потужності енергозасобу, зокрема при використанні важких борін;
- часте зношування підшипників та дисків при роботі на кам'янистих ґрунтах.

Основними напрямками модернізації дискових ґрунтообробних агрегатів є наступні:

- вдосконалення конструкції та принципів будови рамних конструкцій ґрунтообробного знаряддя;
- гідравлічне регулювання глибини обробітку;
- адаптивне регулювання кута атаки дисків та батарей секцій вцілому;
- використання V-подібної форми батарей для покращення перемішування рослинних решток та ґрунтових горизонтів;
- встановлення додаткових робочих органів, наприклад ущільнюючих котків для зменшення випаровування вологи;
- інтеграція GPS-навігації та систем автоматичного контролю глибини обробітку.

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Підшипникові вузли: необслуговувані, герметизовані, захищені від пилу та бруду. Вони забезпечують довговічну роботу навіть у важких умовах (пил, підвищена волога, частки ґрунту).
- Система демпфування: кожен диск знаряддя кріпиться на пружинному стояку діаметром 40 мм, що дозволяє диску відхилятися при зіткненні з перешкодою.
- Задній коток, що виконує функцію ущільнювача: можуть бути різні варіанти (UDW, трубчастий, гумовий, клиноподібний тощо). Відповідає за вирівнювання ґрунту і ущільнення поверхневого шару після проходу дисків.
- Гідравлічна система регулювання: забезпечує регулювання глибини обробітку з кабіни трактора. Крім цього, гідросистема забезпечує автоматичне налаштування балансу рами.

Принцип роботи LEMKEN Rubin 12 наступний. Під час руху агрегату по полю дискові батареї заглиблюються в ґрунт. Завдяки великому діаметру дисків (736 мм) та агресивному куту атаки сферичні диски перерізають пожнивні рештки, розпушують верхній шар ґрунту на глибину до 20 см. Диски працюють симетрично, що дозволяє взаємозрівноважити агрегат, тому дискова борона не зсувається з заданої траєкторії руху.

Переваги LEMKEN Rubin 12 наступні:

1. Значна глибина обробітку ґрунту, яка може досягати до 20 см, що для дискової борони є надзвичайно ефективною глибиною.
2. Рівномірне перемішування рослинних решток, що забезпечується завдяки великому діаметру дисків і високій швидкості їх обертання.
3. Симетричне розташування дисків дозволяє досягти зменшення тягового опору та навантаження на трактор.
4. Необслуговувані підшипники, що дозволяють досягти зменшення витрат на обслуговування ґрунтообробного агрегату.

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Висока швидкість роботи, яка досягає 15 км/год, що дозволяє підвищити загальну продуктивність агрегату.
6. Пружинений стояк кожного диска, що виконує роль запобіжного пристрою і дозволяє досягти ефективної роботи агрегату на кам'янистих ґрунтах.
7. Гідравлічне регулювання глибини, що дозволяє зручно керувати агрегатом без зупинки із кабіни трактора.

Основні недоліки LEMKEN Rubin 12 наступні:

1. Висока вартість ґрунтообробного агрегату, оскільки дана дискова борона це техніка преміум-класу із відповідною вартістю.
2. Велика загальна маса ґрунтообробного агрегату, що загалом вимагає комплектування даної борони із потужними енергоємними тракторами (від 250 до 300 к.с.).
3. Складність в транспортуванні агрегату, особливо у варіантах із шириною захвату 6...7 м.
4. Висока чутливість агрегату до вологи – як і більшість дискових борін, на перезволожених ґрунтах знижується якість роботи через налипання і забивання ґрунту між дисками.
5. Потрібен регулярний контроль стану пружин підвіски через те, що під системним навантаженням вони з часом втрачають жорсткість і потребують заміни.

Одним із прямих конкурентів LEMKEN Rubin 12 є дискова борона KUHN Discover XM2 (рис. 13), яка є важким напівпричіпним агрегатом, що призначений для інтенсивного обробітку ґрунту після збирання врожаю.

Будова ґрунтообробного агрегату KUHN Discover XM2 наступна:

- рама: є важкою та посиленою, що виготовляється із товстостінного профілю. Складається з центральної балки та шарнірно з'єднаних бокових частин (у складних моделях із з гідравлічним складанням).

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

формується вирівняна дрібнокомкувата структура із ущільненим насіннєвим ложем.

Переваги агрегату KUHN Discover XM2 є близькими до переваг LEMKEN Rubin 12, однак до зазначених вище переваг доєднується дуже гарне копіювання рельєфу поля та зручне і точне налаштування глибини обробітку.

Недоліки теж є дуже близькими і поряд із необхідністю працювати із потужними енергозасобами (180...220 к.с.) та надто високої ціни агрегату можна виділити недостатню його ефективність роботи під час обробітку надто твердого та пересушеного ґрунту та ускладнене транспортування агрегату і його маневрування під час виконання технологічних операцій в полі.

В більшості випадків дисковий луцильник KUHN Discover XM2 застосовують при луценні стерні після зернових, кукурудзи, соняшнику; проведення поверхневого обробітку замість плуга; проведення передпосівної підготовки поля після грубого обробітку ґрунту та інтенсивне подрібнення пожнивних решток і заробка внесених добрив розкидним способом.

BEDNAR SwifterDisc XO (рис. 14) – це сучасна швидкісна дискова борона, яка поєднує інтенсивну обробку пожнивних решток, вирівнювання поверхні поля та підготовку якісного насіннєвого ложа.

Борона SwifterDisc XO є напівпричіпним або навісним агрегатом (залежно від моделі), що має ширину захвату від 3 до 12 м, який розроблений для високошвидкісної поверхневої обробки ґрунту на глибину до 12 см.

Основними конструктивними елементами дискової борони BEDNAR SwifterDisc XO є:

- рама, яка виготовляється із високоміцної сталі, має складну шарнірну конструкцію та гідравлічне складання для проведення транспортування агрегату;
- робочі органи борони є сферичні диски, які мають діаметр 520 або 560 мм та розташовані V-подібно у два ряди. Диски встановлюються на

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

дискової борони дозволяє забезпечити доступ до основних налаштувань агрегату з кабіни трактора.

За своїм принципом роботи ґрунтообробний агрегат BEDNAR SwifterDisc XO є типовим дисковим знаряддям, який забезпечує підрізання рослинних решток першим рядом дисків та частково перемішує ці рештки, при цьому другий ряд дисків завершує перемішування та проводить розподіл решток в ґрунтовому середовищі і завершує вирівнювання мікрорельєфу поля. При встановлених на дисковій бороні вирівнювальних планок проводиться додаткове розбивання крупних грудок ґрунту. Котки, що встановлені позаду дисків проводять вирівнювання ґрунту та ущільнення оброблюваного горизонту, створюючи при цьому якісне насіннєве ложе для наступних операцій посіву.

Серед переваг агрегату BEDNAR SwifterDisc XO можна відмітити можливість якісного обробітку ґрунту при підвищених швидкостях до 15...18 км/год; рівномірний розподіл рослинних решток в оброблюваному горизонті; гнучкі та легкі регулювання агрегату, оскільки можна швидко змінити глибину обробітку, тиск на ґрунт та тип котка та є компактним під час транспортування, оскільки гідравлічна система дозволяє швидко складати агрегат. До того ж через оптимальну форму дисків вдається досягти знижених енергетичних показників проведення дискування.

Недоліки агрегату BEDNAR SwifterDisc XO є теж типовими для подібних знарядь, а це – висока вартість машини, максимальна глибина обробітку не перевищує 12 см, для своєї роботи потребує енергенащеного трактора, при ширині захвату 6 м потрібно енергозасіб 180+ кінських сил та різке зниження якості обробітку під час операцій на кам'янистих ґрунтах та під час обробітку надто зволжених полів.

Таким чином, після огляду достатньо поширених дискових знарядь закордонних виробників можна зробити такі висновки:

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Дискові луцильники та важкі дискові борони залишаються незамінними агрегатами у сучасному землеробстві.
2. Основні тенденції модернізації спрямовані на підвищення ефективності обробки, адаптацію до умов мінімального обробітку та зниження енерговитрат.
3. Іноземні виробники демонструють високий рівень технологічності, з яким мають зрівнятись і вітчизняні ґрунтообробні агрегати.

3.1. Послідовність проведення експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження проводилися в умовах поля фермерського господарства Кропивницького району Кіровоградської області з метою оцінки роботи модернізованого важкого дискового луцильника, конструкція якого була доопрацьована в рамках інженерної частини магістерської роботи. В конструкції луцильника змінено будову зварної рами, яка є більш жорсткою і дозволяє в більш широкому діапазоні регулювати кут атаки батарей та проводити обробіток ґрунту із підвищеною швидкістю. На секціях борін запропоновано встановлення почергово вирізних і гладких сферичних дисків, що за умов підвищеної твердості ґрунту дозволяє забезпечити стабільну глибину обробітку та сприяє більш якісному очищенню робочих органів від забивань та внесено пропозицію замінити литі стояки кріплення батарей на стояки зварних конструкцій, які забезпечують зниження загальної маси агрегати, дозволяють більш гучно копіювати рельєф поля та зменшити загальну кількість покупних виробів для виготовлення агрегату.

Перед початком польових випробувань, спрямованих на визначення ефективності роботи оновленого агрегату, було виконано ряд підготовчих технологічних операцій:

- проведено перевірку та обкатку всіх рухомих елементів і вузлів луцильника в холостому режимі з метою виявлення можливих відхилень у роботі;

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- здійснено регулювання глибини обробітку, кута атаки дисків, тиску котків і загального розташування секцій відповідно до агротехнічних вимог;
- проведено пробний прохід агрегату в полі, за результатами якого було внесено додаткові налаштування в конструкцію та механізми агрегату з урахуванням фактичних умов роботи.

У процесі модернізації дискового луцильника особлива увага приділялася покращенню адаптивності агрегату до змінних польових умов. Так, впроваджене регулювання кута атаки дозволило оперативно змінювати ступінь інтенсивності обробітку, а встановлення дисків вирізних та із суцільними лезами дало змогу зменшити пробуксовування та підвищити енергоефективність при роботі, зокрема на важких ґрунтах.

3.2. Результати проведених експериментальних досліджень роботи дискового луцильника

Експериментальні дослідження по визначенню впливу факторів на ефективність роботи важкого дискового луцильника проводили за стандартною методикою використовуючи класичні підходи планування факторного експерименту. До найбільш впливових факторів, які впливають на ефективність обробітку ґрунту дисковим луцильником віднесено:

- робочу швидкість луцення стерні дисковим агрегатом V_p , км/год;
- діаметр сферичних дисків D , мм;
- кут атаки дисків луцильника α , град;
- відстань між дисками в батареї b , мм.

В таблицю 2 зведено всі чинники, що впливають на обробіток ґрунту важким дисковим луцильником, їх символічне позначення під час побудови статистичної моделі рівні та інтервали варіювання наведених факторів, що мали місце під час реалізації експериментальних досліджень.

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

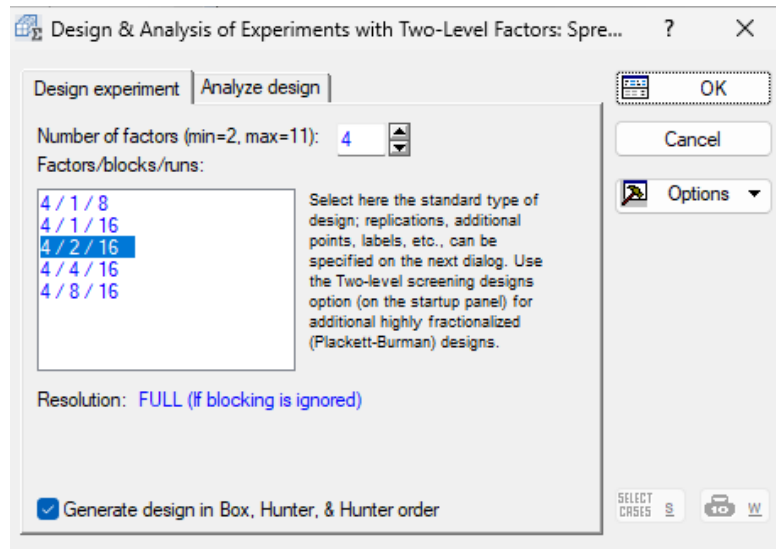


Рис. 15. Відображення монітора ПК на етапі планування факторного експерименту

Наступний етап моделювання – введення в план експерименту факторів та рівнів їх значимості. Після цього, пакет програми STATISTICA 12 виводить на екран матрицю експериментальних досліджень із послідовністю проведення дослідів та порядком взаємної зміни рівнів відповідних факторів. Далі на екрані монітора до отриманого плану експериментів потрібно додати п'яту колонку, яка буде містити результати проведених експериментів (рис. 16). Критерієм оптимізації Y виступав узагальнений коефіцієнт якості обробітку ґрунту, який представляв собою відношення вмісту часток, які оброблені згідно із агро вимогами (розміри не перевищували 3 мм) до всього об'єму обробленого ґрунту. Варто зазначити, що повторюваність дослідів є трикратною, а в п'яту колонку вносилося середнє значення трьох повторностей експерименту на кожному із встановлених рівнів факторів. Крім цього, на етапі обробки експериментів потрібно врахувати, що критерій оптимізації Y повинен бути максимально наближатися до 100%. При цьому, серійний важкий дисковий луцильник ЛДВ-3,0 під час обробітку ґрунту в базовому господарстві на тих полях, на яких дослідження проводилися забезпечував якість виконання робіт на рівні $Y = 62...67\%$.

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

	1	2	3	4	5
	Vp, км/год	D, мм	α, град	b, мм	Y
1	8	350	10	150	64
2	14	350	10	150	75
3	8	550	10	150	66
4	14	550	10	150	71
5	8	350	20	150	75
6	14	350	20	150	87
7	8	550	20	150	88
8	14	550	20	150	92
9	8	350	10	350	71
10	14	350	10	350	79
11	8	550	10	350	80
12	14	550	10	350	84
13	8	350	20	350	70
14	14	350	20	350	82
15	8	550	20	350	76
16	14	550	20	350	87

Рис. 16. Загальний вигляд матриці проведених експериментальних досліджень оцінки якості роботи дискового луцильника

Отже, після комп'ютерного опрацювання представлені на рис. 16 матриці досліджень програма формує табличний результат експерименту, який наведено на рис. 17.

Effect Estimates; Var.:Y; R-sqr=.95446; Adj:.86338 (Spreadsheet6.sta)										
2**(4-0) design; MS Residual=9,4625										
DV: Y										
Factor	Effect	Std.Err.	t(5)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	77,93750	0,769029	101,3453	0,000000	75,9606	79,91435	77,93750	0,769029	75,96065	79,91435
(1)Vp, км/год	8,37500	1,538059	5,4452	0,002837	4,4213	12,32871	4,18750	0,769029	2,21065	6,16435
(2)D, мм	5,12500	1,538059	3,3321	0,020731	1,1713	9,07871	2,56250	0,769029	0,58565	4,53935
(3)α, град	8,37500	1,538059	5,4452	0,002837	4,4213	12,32871	4,18750	0,769029	2,21065	6,16435
(4)b, мм	1,37500	1,538059	0,8940	0,412290	-2,5787	5,32871	0,68750	0,769029	-1,28935	2,66435
1 by 2	-2,37500	1,538059	-1,5442	0,183205	-6,3287	1,57871	-1,18750	0,769029	-3,16435	0,78935
1 by 3	1,37500	1,538059	0,8940	0,412290	-2,5787	5,32871	0,68750	0,769029	-1,28935	2,66435
1 by 4	0,37500	1,538059	0,2438	0,817063	-3,5787	4,32871	0,18750	0,769029	-1,78935	2,16435
2 by 3	2,12500	1,538059	1,3816	0,225638	-1,8287	6,07871	1,06250	0,769029	-0,91435	3,03935
2 by 4	1,12500	1,538059	0,7314	0,497334	-2,8287	5,07871	0,56250	0,769029	-1,41435	2,53935
3 by 4	-8,12500	1,538059	-5,2826	0,003238	-12,0787	-4,17129	-4,06250	0,769029	-6,03935	-2,08565

Рис. 17. Результат проведених досліджень у вигляді таблиці по оцінці впливу факторів на якість обробітку ґрунту важким дисковим луцильником

На основі представленої таблиці результатів (рис. 17) маємо можливість отримати статистичну модель впливу факторів на якість обробітку ґрунту важким дисковим луцильником у наступному вигляді:

$$Y = 77,937 + 4,187x_1 + 2,562x_2 + 4,187x_3 + 0,687x_4 - 1,187x_1x_2 + 0,687x_1x_3 + 0,187x_1x_4 + 1,062x_2x_3 + 0,562x_2x_4 - 4,062x_3x_4.$$

На рис 18. наведено Парето-карту, яка дозволяє оцінити вплив коефіцієнтів наведеного вище рівняння регресії на якість обробітку ґрунту дисковим луцильником. Для детальнього аналізу попарного впливу значимих факторів на критерій оптимізації в таблицю 3 зведено тримірні графіки попарного впливу обраних факторів на якість обробітку ґрунту.

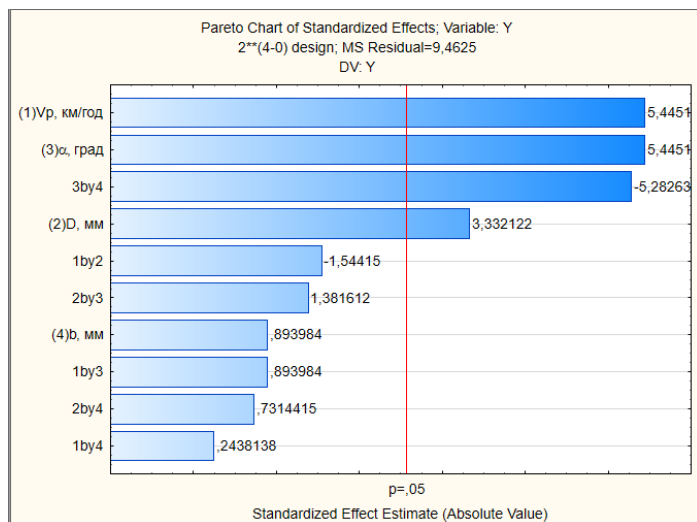
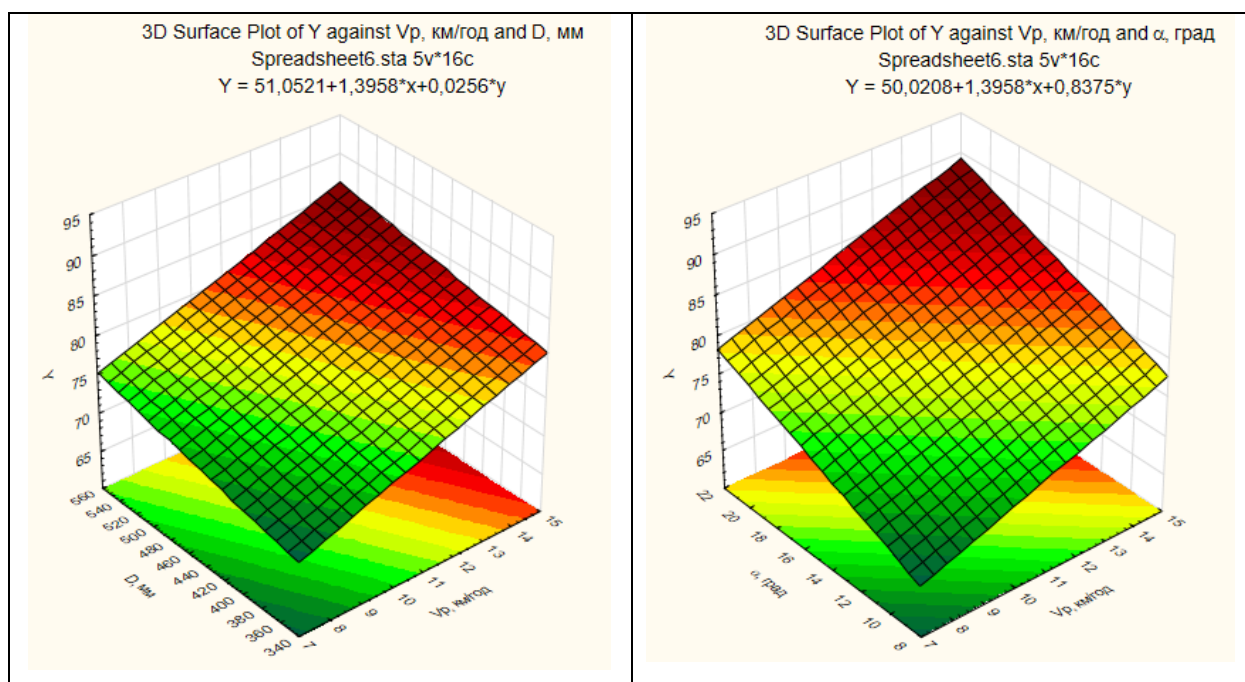


Рис. 18. Стандартизована Парето-карта по оцінці впливу коефіцієнтів рівняння регресії на критерій оптимізації під час проведення експериментів

Таблиця 3

Тримірні графіки впливу факторів на якість обробітку ґрунту дисковим луцильником

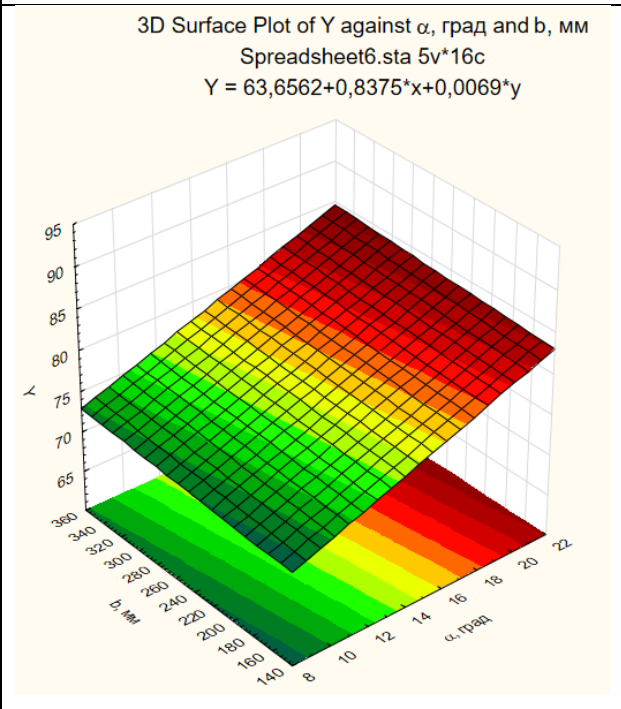
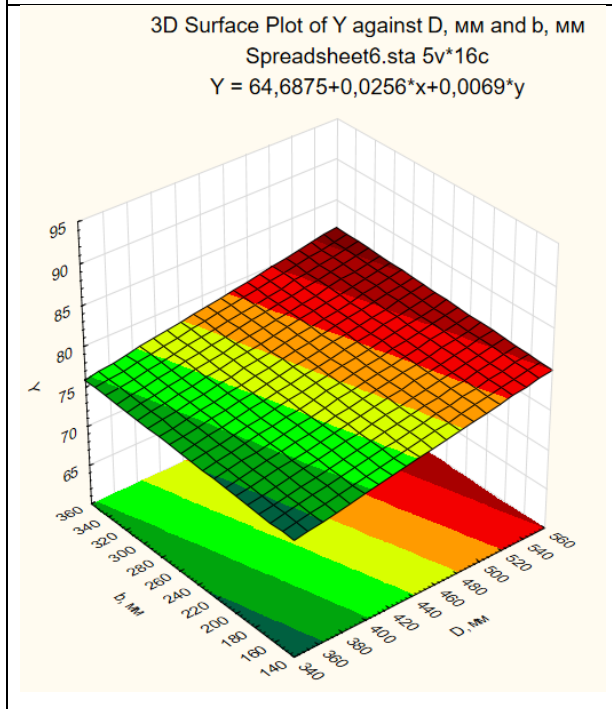
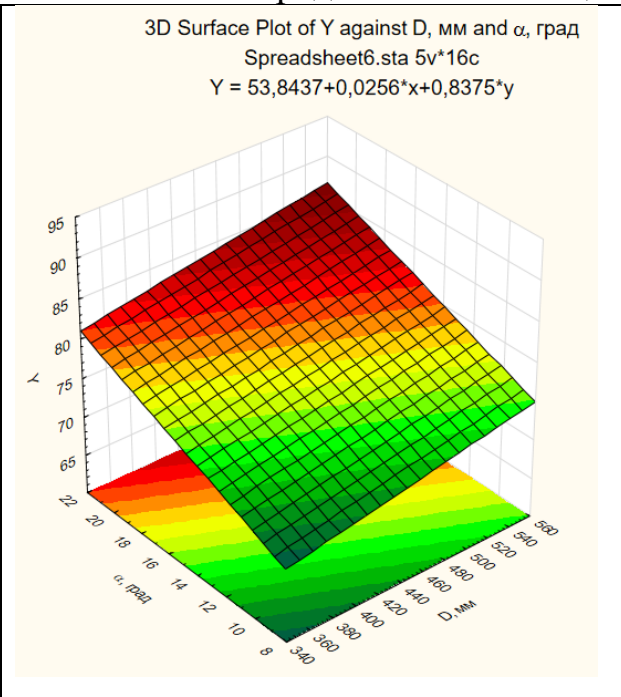
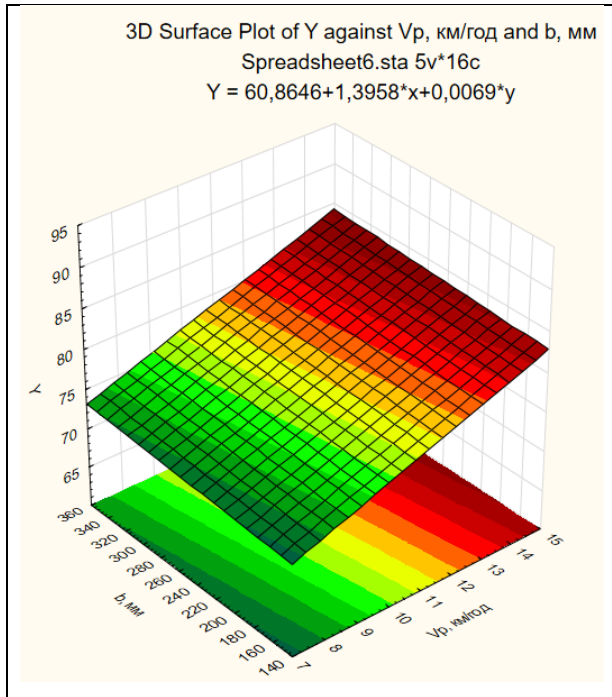


Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

УКЗК 00.000 ПЗ

Арк.

56



Таким чином, аналіз результатів досліджень як у вигляді рівняння регресії, Парето-карти та тримірних графіків впливу факторів на критерій оптимізації, яким у даному випадку виступав узагальнений коефіцієнт якості обробки ґрунту, дозволив відмітити, що кожен із обраних факторів, а саме – робоча швидкість луцення стерні $x_1(V_p)$, діаметр сферичних дисків $x_2(D)$,

луцильника а після обробки експериментальних досліджень вдалося встановити області раціональних значень факторів, які найбільш суттєво впливають на якість обробітку ґрунту луцильником. Програму досліджень та їх обробку проводили керуючись положеннями методики планування багатофакторного експерименту використовуючи при цьому програмний комплекс STATISTICA 12. До найбільш впливових факторів, які дозволяють змінювати якість обробітку ґрунту луцильником віднесено:

- робочу швидкість луцення стерні дисковим агрегатом V_p , км/год;
- діаметр сферичних дисків D , мм;
- кут атаки дисків луцильника α , град;
- відстань між дисками в батареї b , мм.

В результаті проведених експериментів встановлені раціональні значення обраних факторів, при яких якість обробітку ґрунту дисковим луцильником складає $Y = 78...82\%$, а це $x_1(V_p) = 11...12$ км/год; $x_2(D) = 450$ мм; $x_3(\alpha) = 20^\circ$ та $x_4(b) = 180...220$ мм.

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Згідно з чинними вимогами стандарту ГОСТ 12.0.003-74 «Небезпечні та шкідливі виробничі фактори», під час використання вдосконаленого важкого дискового луцильника можуть мати місце наступні ризики:

- наявність швидко рухомих та обертових елементів агрегату;
- підвищений рівень шуму і вібраційних навантажень, що може спостерігатися наприклад від роботи двигуна енергозасобу;
- висока запиленість повітря в зоні виконання робіт оператором;
- значна кількість гострих елементів та заусенців в конструкціях луцильника та енергозасобу;
- висока ймовірність перекидання скомплектованого агрегату при роботі на схилах з кутом нахилу, що перевищує допустимі значення;
- контакт працюючого під час проведення операцій обробітку ґрунту з паливно-мастильними матеріалами, що може також мати місце і під час техобслуговування;
- порушення комфортного мікроклімату на робочому місці через зовнішні погодні умови;
- значні габарити скомплектованого ґрунтообробного агрегату, які ускладнюють його транспортування звичайними дорогами;
- підвищена пожежонебезпека.

Пропозиції щодо покращення умов праці під час роботи з дисковим луцильником

Гідравлічна система агрегату має відповідати вимогам ГОСТ 12.2.040 та ГОСТ 12.2.086. З'єднання з гідросистемою трактора здійснюється через швидко роз'ємні з'єднання, що запобігають витіканню мастила та потраплянню його на оператора.

Налаштування робочих органів можливе прямо з кабіни, що підвищує безпеку та зручність. Конструкція не обмежує оглядовість.

										Арк.
										60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

УКЗК 00.000 ПЗ

У вузлах з важким доступом застосовано підшипники з довгостроковим змащенням, а місця, які потребують змащення маркуються яскравими індикаторними написами і позначками.

Ґрунтообробний агрегат має бути укомплектованим необхідним інструментом та пристроями для безпечного очищення сферичних дисків та інших робочих органів.

Рівень шуму на робочому місці оператора не повинен перевищувати норм, встановлених ГОСТ 12.2.019.

Колір ґрунтообробного агрегату повинен контрастувати із фоном поля, а зони постійної уваги пофарбовані матовою фарбою відмінною від основної.

Попереджувальні написи розміщено в зонах підвищеної небезпеки.

Рівень вібрацій не повинен перевищувати допустимих меж відповідно до ГОСТ 12.2.019, а робоче місце захищене від вилітання часток ґрунту та пилу.

Для забезпечення стійкості скомплектованого агрегату при русі використовується кронштейн з баластом на передній частині рами.

Поперечна стійкість агрегату у комплектації з трактором має становити щонайменше 30°. У відчепленому стані агрегат не втрачає стійкість навіть при навантаженні понад 200 Н.

Для безпечного транспортування передбачено транспортний пристрій, світлоповертачі та знаки обмеження швидкості згідно з ГОСТ 10807.

Процес приєднання до трактора можливо виконати одним оператором. Зусилля, необхідне для налаштування глибини обробітку, не повинно перевищувати 200 Н. Загальна кількість робочих дій під час обслуговування – не більше 25 за хвилину.

Робочі органи оснащені фіксаторами для безпечної фіксації у транспортному положенні.

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Модернізація конструкції важкого дискового луцильника ЛДВ-3,0 була проведена на основі інженерних розрахунків і направлена на підвищення ефективності його використання в польових умовах. Удосконалення передбачає застосування нових конструктивних рішень, які мають безпосередній вплив на економічні показники експлуатації та виробництва агрегату.

Основні техніко-економічні аргументи:

Застосування нової жорсткої зварної рами. Конструкція рами дозволила підвищити швидкість роботи агрегату без втрати якості обробітку ґрунту. Це сприяє:

- збільшенню продуктивності праці (до 10–15% приросту завдяки підвищеній робочій швидкості);
- зниженню витрат пального та робочого часу на одиницю обробленої площі;
- зменшенню амортизаційного навантаження на трактор і сам луцильник через зменшення кількості проходів.

Чергування на секціях вирізних і гладких дисків. Така компоновка дисків на батареях дискового луцильника:

- підвищує якість обробітку ґрунту в умовах підвищеної щільності;
- зменшує ймовірність забивання рослинними залишками;
- забезпечує стабільну глибину обробітку, що особливо важливо при підготовці полів до посіву;
- дозволяє скоротити потребу в додаткових проходах техніки, а отже — економить час і пальне.

Заміна литих стояків на стояки зварної конструкції. Це рішення призвели до:

- зниження загальної маси агрегату приблизно на 8–12%;

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

6. ВИСНОВОК

У процесі виконання магістерської роботи було здійснено всебічне дослідження технологій обробітку ґрунту дисковими луцильниками та дисковими боронами. Здійснено детальний аналіз роботи ґрунтообробних машин і знарядь із сферичними дисками, особливу увагу приділено доцільності проведення якісного луцення стерні та поверхневого обробітку ґрунту, що є важливою передумовою для формування сприятливого агрофону зазначеними агрегатами.

Враховуючи наявний досвід ряду господарств України, було запропоновано вдосконалити технологічну схему проведення луцення стерні та поверхневого обробітку ґрунту, інтегрувавши в неї операцію луцення за допомогою модернізованого важкого дискового луцильника типу ЛДВ-3,0.

У результаті технічного доопрацювання конструкції агрегату були внесені наступні зміни. Спроековано нову зварну раму, яка підвищила загальну жорсткість агрегату, що, в свою чергу, дало змогу збільшити швидкість виконання операцій без втрати якості обробітку. Розроблено креслення вирізних дисків, які запропоновано встановлювати по чергово з гладкими дисками на кожній секції, що дозволяє забезпечити кращу якість подрібнення та стабільну глибину обробітку навіть на твердих або задернілих ґрунтах. Удосконалено конструкцію стояків батарей дисків, а саме замість литих елементів запропоновано використовувати зварні, що сприяло зменшенню маси агрегату та зниженню витрат на закупівлю комплектуючих. Збільшено ширину захвату агрегату до 3150 мм, що дозволило забезпечити зростання продуктивності ґрунтообробного агрегату.

У графічній частині роботи наведено креслення оновлених вузлів та деталей, розроблених у межах інженерної модернізації агрегату.

В результаті виконання наукового розділу магістерської роботи сформульовані задачі досліджень, виділено мету роботи та предмет і об'єкт досліджень, обґрунтовані напрямки модернізації важкого дискового

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

луцильника а після обробки експериментальних досліджень вдалося встановити області раціональних значень факторів, які найбільш суттєво впливають на якість обробітку ґрунту луцильником. Програму досліджень та їх обробку проводили керуючись положеннями методики планування багатофакторного експерименту використовуючи при цьому програмний комплекс STATISTICA 12. В результаті проведених експериментів встановлені раціональні значення обраних факторів, при яких якість обробітку ґрунту дисковим луцильником складає $Y = 78...82\%$, а це робоча швидкість лущення стерні дисковим агрегатом $x_1(V_p) = 11...12$ км/год; діаметр сферичних дисків $x_2(D) = 450$ мм; кут атаки дисків луцильника $x_3(\alpha) = 20^\circ$ та відстань між дисками в батареї $x_4(b) = 180...220$ мм.

У розділі, присвяченому охороні праці, проведено аналіз потенційних шкідливих та небезпечних виробничих факторів, які можуть виникати при експлуатації вдосконаленого важкого дискового луцильника. Також наведено комплекс заходів для запобігання виробничим ризикам та забезпечення безпечних умов праці. Доцільність упровадження запропонованих рішень підтверджується отриманим позитивним економічним ефектом, що свідчить про ефективність запропонованої модернізації луцильника.

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. 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.
11. Проектування сільськогосподарських машин : навч. посіб. / [Бендера І. М. та ін.] ; за ред. І. М. Бендери, А. В. Рудя, Я. В. Козія. – Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О. В., 2011. – 640 с.
12. Система техніко-технологічного забезпечення виробництва продукції рослинництва / за ред. В. В. Адамчука, М. І. Грицишина. – Київ : Аграрна наука, 2012. – 416 с.
13. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: підручник / [Войтюк Д. Г. та ін.]; за ред. С. С. Яцуна. – [2-ге вид., перероб. і допов.]. – Суми: Сумський нац. аграр. ун-т, 2011. – 444 с.
14. Бабенко Д.В. Механіка матеріалів і конструкцій: практикум: навчальний посібник / Д.В. Бабенко, О.А. Горбенко, Н.А. Доценко. – Миколаїв: МНАУ, 2017. – 384 с.
15. Іванчук А.В. Деталі машин: Навч. посібник [для студ. вищ. пед. навч. закл.] / А.В. Іванчук. – Вінниця: ТОВ фірма «Планер», 2010. – 336 с.
16. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. – Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2015. – 492 с.
17. Кравчук В.І., Мельник Ю.Ф. Машини для обробітку ґрунту та сівби/ МінАПК України, Дослідницьке, - 2009. - 288 с.
18. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки / за ред. В. І. Кравчука, М. І. Грицишина, С. М. Ковалю. – Київ: Аграрна наука, 2004. – 396 с.
19. Підручник дослідника. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. / Васильковський О.М., Лещенко С.М., Васильковська К.В., Петренко Д.І. – Кіровоград, Х.: Мачулін, 2016. – 204 с.

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

20. Основи наукових досліджень. Перші наукові кроки: Навч. посіб. для студ. агротехн. спец. / О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, К.В. Васильковська, Д.І. Петренко. – Харків: Мачулін, 2019. – 164 с. Режим доступу: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/10486>
21. Приводи сільськогосподарської техніки : метод. рекомендації до викон. практ. робіт / [уклад.: В. А. Дейкун, С. М. Лещенко, Д.І. Петренко, Р.В. Кісільов]; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. с.-г. машинобуд. – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. – 67 с. <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/9359>.
22. Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г., Павх І.І. Машина сільськогосподарського виробництва – Тернопіль:, 2005. – 228 с.
23. Ільчук М.М., Зрібняк Л.Я., Мельник С.І. Організація і планування сільськогосподарського виробництва: Підручник – К.: Вища освіта, 2013. – 535 с.
24. Андрійчук В. Г. Економіка підприємств агропромислового комплексу: підручник / В. Г. Андрійчук. – К. : КНЕУ, 2013. – 779 с.
25. Шелюк Л.Ю. Організація і планування діяльності аграрних формувань: Підручник. – К.: Аграрна освіта, 2011. – 324 с.
26. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник для студентів вищих навчальних закладів. За редакцією М.П. Гандзюка. – К.: Каравела, 2003.– 408 с.
27. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник. – Львів: Афіша, 2002.– 320 с.

					УКЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ