

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 першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:

«Удосконалення ґрунторозпушувача з розробкою лапи та котка»

Виконав здобувач вищої освіти IV курсу,
групи ГМ(СМ)-21
ОПП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»
_____ Руденко Дмитро Андрійович
« ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи
доцент, канд. техн. наук
_____ Дмитро ПЕТРЕНКО
« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент
доцент, канд. техн. наук
_____ Кирил ЩЕРБИНА
« ____ » _____ 2025 р.

м. Кропивницький

Анотація

**Тема: «Удосконалення ґрунторозпушувача з розробкою лапи та котка»
обробіток ґрунту, ґрунтообробний агрегат, лапа, коток**

Аналіз ефективності ґрунтообробних знарядь підтвердив домінування безполицевого обробітку. Модернізація ґрунторозпушувача передбачає впровадження дискового очисника для ефективного перерізання рослинних решток, що дозволяє ефективно усунути забивання стояка, та ребристо-трубчастого котка для покращення структури ґрунту. Ці зміни забезпечують зменшення експлуатаційних витрат, мінімізацію негативного впливу на довкілля та оптимізацію умов для росту культур.

Abstract

**Topic: «Improvement of the soil cultivator with the development of the
paw and roller»
soil cultivation, tillage unit, paw, roller**

Analysis of the efficiency of tillage tools confirmed the dominance of non-slatted cultivation. The modernization of the tiller involves the introduction of a disk cleaner for effective cutting of plant residues, which allows for effective elimination of clogging of the riser, and a ribbed-tubular roller to improve soil structure. These changes ensure reduced operating costs, minimized negative environmental impact, and optimized conditions for crop growth.

1. Вступ

Багаторічне застосування традиційних технологій обробітку ґрунту призводить до погіршення властивостей ґрунту та зниження його родючості. Аналіз світових тенденцій у землеробстві показує, що перевага надається ґрунтозахисним технологіям [1-3]. Вони спрямовані на запобігання ерозії, збереження та підвищення родючості ґрунтів, а також захист довкілля.

Безполицевий обробіток ґрунту – це сучасний тренд сучасного землеробства, що дедалі частіше замінює традиційні системи підготовки ґрунту. Хоча цей прогресивний метод має значні переваги, його поширення в Україні стримують декілька факторів. Зокрема, велика кількість пожнивних решток, що залишаються на полях після збирання врожаю. Без попереднього подрібнення цих решток якісний обробіток ґрунту стає неможливим навіть при використанні традиційних плугів.

Безполицевий обробіток вимагає використання різноманітних плоскорізних, чизельних та комбінованих знарядь. Ці знаряддя маючи низьку енергоємність та високу продуктивність, здатні забезпечувати необхідні якісні показники обробітку ґрунту, не спричиняючи руйнівних процесів.

Саме тому зараз надзвичайно важливо не лише обґрунтувати оптимальні параметри окремих робочих органів та їх взаємне розташування, але й удосконалити наявні та розробити нові енергозберігаючі й екологічно безпечні технології безполицевого обробітку ґрунту та забезпечити їх технічною підтримкою. Наш проєкт має на меті підвищити ефективність застосування основного безполицевого обробітку ґрунту на прикладі ґрунторозпушувача ГР-3,9 за рахунок забезпечення очищення стояків лап від рослинних решток та бур'янів без додаткових технологічних операцій.

					ГР 00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Руденко				Пояснювальна записка	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Петренко							
Н. контр.	Мачок							
Затверд.	Васильковський							
						ЦНТУ, гр. ГМ(СМ)-21		

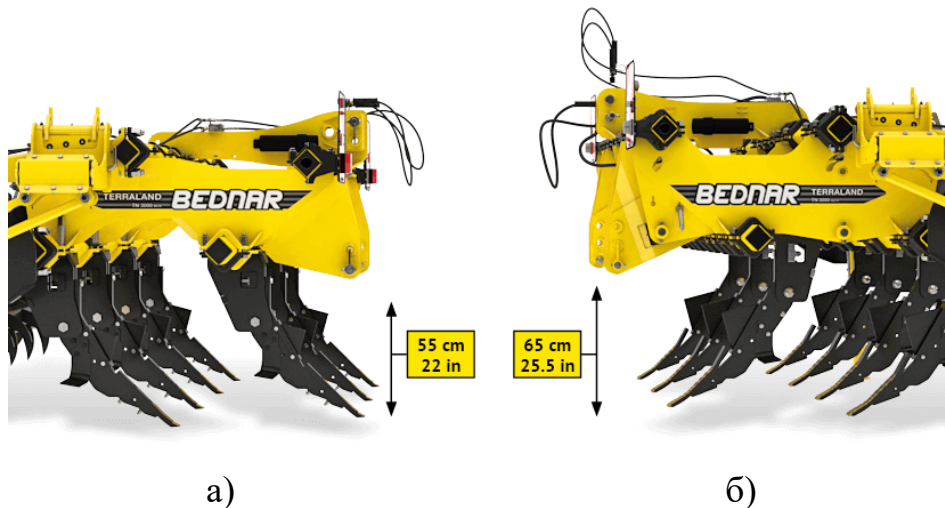


Рис. 2.2 – Глибокорозпушувачі TERRALAND TN від BEDNAR [6]:
а) модель TN_M; б) модель TN_D

- **Комбіновані агрегати.** Ці машини поєднують у собі функції кількох типів знарядь, наприклад, чизельні лапи для глибокого розпушування та дискові батареї або зубчасті борони для поверхневого обробітку та заробки решток (рис. 2.3). Вони дозволяють виконати кілька операцій за один прохід, що значно економить час та паливо.



Рис. 2.3 – Мульчувальний культиватор Senio від AMAZONE [7]

- **Дискові борони (дископаки).** Хоча дискові борони можуть використовуватися для поверхневого обробітку як самостійні знаряддя, у

					ГР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ребристо-трубчастий. Це важливе покращення дозволить не тільки ефективніше подрібнювати грудки ґрунту, але й значно зменшити ерозійні процеси. Ребристо-трубчастий коток створює більш стабільну структуру поверхні ґрунту, що є критично важливим для збереження його родючості та запобігання вітровій та водній ерозії.

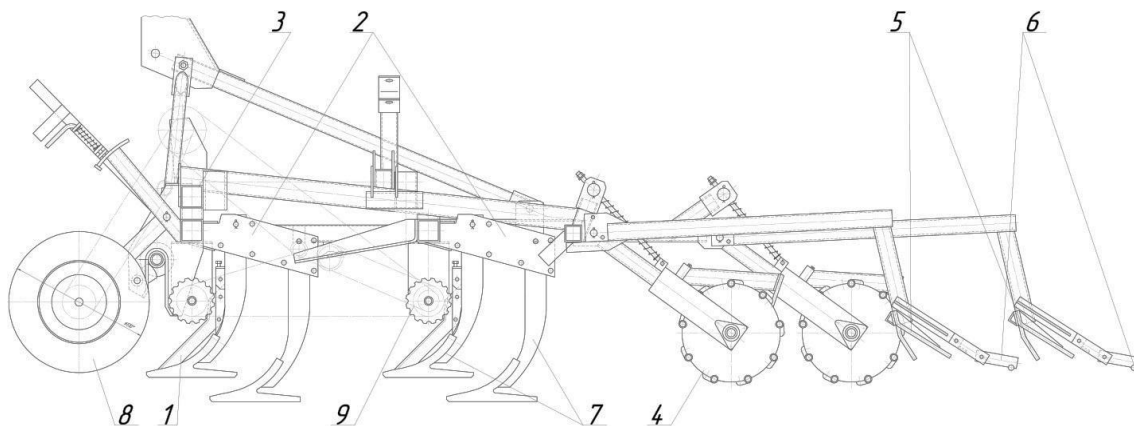


Рис. 2.10 – Схема запропонованої конструкції комбінованого ґрунторозпушувача:

1 – ніж; 2 – гряділі; 3 – рама; 4 – ребристо-трубчастий коток; 5 – гребінка; 6 – шлейф; 7 – стояки з стрілочастими лапами; 8 – опорне колесо; 9 – активні диски.

Висновки

В розділі проаналізовано ефективність застосування ґрунтообробних знарядь для різних систем землеробства. Встановлено, що безполицевий обробіток є основним трендом сьогодення, який потребує розвитку. Зважаючи на це, та з врахуванням проаналізованих переваг і недоліків знарядь для безполицевого обробітку, запропоновано удосконалити конструкцію ґрунторозпушувача ГРН-3,9.

Запропоновані удосконалення, що спрямовані на ефективне управління рослинними рештками та покращення фінішного обробітку, є ключовими для підвищення загальної ефективності безполицевого обробітку ґрунту. Вони сприятимуть створенню оптимальних умов для росту культур, одночасно зменшуючи експлуатаційні витрати та негативний вплив на довкілля.

					ГР 00.000 ПЗ		Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

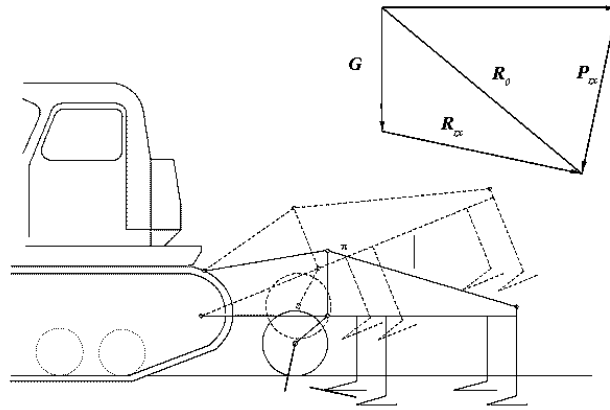


Рис. 3.2 – Силова розрахункова схема ґрунторозпушуючого агрегату при агрегуванні гусеничним трактором

Сила R_{zx} визначається з залежності:

$$R_{zx} = \frac{R_x}{\cos \Theta},$$

де R_x – величина тягового опору знаряддя;

Θ – кут, під яким діє рівнодіюча, $\Theta = 10^\circ \dots 20^\circ$;

$$R_x = B_m \cdot K_{ГР},$$

де $K_{ГР}$ – значення питомого опору ґрунторозпушувача, $K_{ГР} = 5,2$ кН/м.

Таким чином, матимемо:

$$R_x = 3,9 \cdot 5,20 = 20,3 \text{ кН},$$

$$R_{zx} = \frac{20,3}{\cos(12)} = 20,75 \text{ Н}.$$

					ГР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Принцип роботи цього апарату ґрунтується на ножицеподібному перерізанні рослинних решток. Це означає, що при зрізі забезпечується надійна підпірна опора, адже стебла бур'яну фіксуються між двома точками опори. Для ефективного перерізання за цим принципом, стебла мають бути затиснуті в розхилі ріжучої пари та міцно утримуватися силою тертя на краях ріжучих елементів. Граничний кут розхилу ріжучої пари, при якому виключене висковзування стебла під час зрізу, називається кутом затискання. У даному випадку, кут розхилу ріжучої пари:

$$\gamma = \alpha + \beta.$$

Для спрощення розрахунків кута затискання, ми абстрагуємося від розміру та пружності стебла. При перерізанні, на стебло діятимуть дві основні групи сил: сили нормального тиску з боку ріжучих лез та сили тертя, що виникають між стеблом і лезами (рис. 3.3). Ці сили дорівнюватимуть, відповідно:

$$F_1 = N_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_{12} \text{ та } F_2 = N_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi_{21},$$

де φ_{12} і φ_{21} – відповідно величина кутів тертя ріжучих пар.

Встановимо умову, за якої ковзання стебел може відбуватись вздовж леза протирізальної пластини, для чого вздовж неї спрямуємо вісь ОХ, а вісь ОУ у перпендикулярній площині відносно неї.

Як витікає з умови відсутності висковзування стебел, потрібне виконання умови

$$F_1 \geq N_2 \cdot \sin \gamma - F_2 \cdot \cos \gamma.$$

або, враховуючи значення F_1 та F_2 , одержимо:

					ГР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_{12} \geq N_2 \cdot \sin \gamma - N_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi_{21} \cdot \cos \gamma,$$

звідки

$$N_1 \geq \frac{N_2 \cdot (\sin \gamma - \operatorname{tg} \varphi_{21} \cdot \cos \gamma)}{\operatorname{tg} \varphi_{12}}.$$

При визначенні N_1 споектуємо усі сили на вісь OY:

$$N_1 = F_2 \cdot \sin \gamma + N_2 \cdot \cos \gamma.$$

Зважаючи на це, матимемо:

$$N_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi_{21} \cdot \sin \gamma + N_2 \cdot \cos \gamma \geq \frac{N_2 \cdot (\sin \gamma - \operatorname{tg} \varphi_{21} \cdot \cos \gamma)}{\operatorname{tg} \varphi_{12}}.$$

Проводимо відповідні перетворення:

$$\frac{\sin \gamma}{\cos \gamma} \leq \frac{\sin \varphi_{12} \cdot \cos \varphi_{21} + \sin \varphi_{21} \cdot \cos \varphi_{12}}{\cos \varphi_{12} \cdot \cos \varphi_{21} - \sin \varphi_{12} \cdot \sin \varphi_{21}},$$

$$\frac{\sin \gamma}{\cos \gamma} \leq \frac{\sin(\varphi_{12} + \varphi_{21})}{\cos(\varphi_{12} + \varphi_{21})},$$

$$\operatorname{tg} \gamma \leq \operatorname{tg}(\varphi_{12} + \varphi_{21}).$$

Зважаючи на отримані значення, величина критичного кута затиснення буде дорівнювати сумі кутів тертя відносно леза та протирізальної пластини

					ГР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\gamma \leq \varphi_{12} + \varphi_{21}.$$

Розрахунок котків.

Залежно від типу обробки, знаряддя оснащується одним або двома рядами котків. Передні котки, зроблені з планок круглого перетину, виконують кілька важливих функцій: вони ефективно подрібнюють великі грудки, ущільнюють ґрунт під поверхнею та слугують опорою для задньої частини агрегату. Котки другого ряду, що мають прямокутний перетин, відповідають за вирівнювання поверхні поля, ущільнення ґрунту на глибині посіву та мульчування верхнього шару.

Для оптимальної роботи, ребра котків з круглим перетином розташовані під кутом 10° до напрямку руху. Це конструктивне рішення забезпечує вільний рух частинок ґрунту по ребру, що підтверджено експериментальними даними [19]. Зі зменшенням радіуса котка, його кутова швидкість обертання зростає, що призводить до інтенсивнішого впливу на ґрунт. Це, в свою чергу, забезпечує краще кришіння ґрунту та ефективний винос рослинних залишків і кореневої системи бур'янів на поверхню поля. Мінімальний радіус котка (R_{min}) залежить від глибини його ходу (рис. 3.4) [18, 19]:

$$R_{min} = r_0 + d_e + a_k$$

де r_0 – величина радіуса вала котка, м;

d_e – значення еквівалентного діаметра часток ґрунту, які можуть потрапити досередини котка, м;

a_k – глибина, на яку працює коток, м.

Величину кута повороту котка α_k відносно вертикалі при вході прутка до ґрунту і виходу з нього визначимо згідно залежності:

$$\cos \alpha_k = \frac{R_{min} - a_k}{R_{min}}.$$

					ГР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вертикальна реакція ґрунту на каток – це розрахункова величина, яка тісно пов'язана з конкретною конструктивною схемою знаряддя.

Що стосується відстаней між робочими органами, то, згідно з дослідженнями [17-19], їхні оптимальні значення залежать від швидкості руху агрегату:

- відстань від лап першого ряду до лап другого (l_1): 0,8...1,0 м.
- відстань від лап другого ряду до першого котка (l_3): 0,6...0,8 м.
- відстань між котками (l_4): 0,45...0,7 м, що визначається діаметром котків.

3.2. Кінематичний та силовий аналіз

Розрахунки механізму приводу активного очисника.

Розрахунки механізму приводу активного очисника дискового типу (рис. 3.6) виконаємо, враховуючи максимально можливий крутний момент, яке може розвивати опорно-приводне колесо.

Величина максимального крутного моменту, який здатне забезпечити опорно-приводне колесо:

$$M_{\max} = \frac{f_{ок} \cdot G_{ок} \cdot D_{ок}}{2 \cdot z},$$

де $G_{ок}$ – вага ґрунторозпушувача, яка сприймається його колесами, Н;

$f_{ок}$ – коефіцієнт, що характеризує зчеплення з ґрунтом, у випадку пневматичних коліс $f_{ок} = 0,4$;

$D_{ок}$ – діаметр опорно-приводного колеса, м;

z – чисельність коліс, які сприймають вагу ґрунторозпушувача в роботі.

Вага ґрунторозпушувача, яка сприймається його колесами становитиме:

$$G_{ок} = G_{зр} - n \cdot G_{л},$$

					ГР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{II} = \frac{980}{0,93 \cdot 0,97} = 1086 \text{ Вт};$$

- вал опорно-приводного колеса:

$$P_I = \frac{P_{II}}{\eta_{лн} \cdot \eta_{но}},$$

$$P_I = \frac{1086}{0,93 \cdot 0,97} = 1204 \text{ Вт.}$$

Величина обертального моменту на валу опорно-приводного колеса:

$$M_I = \frac{P_I}{\omega_I},$$

де ω_I – величина кутової швидкості валу опорно-приводного колеса, яку обираємо, зважаючи на робочу швидкість роботи агрегату 12 км/год:

$$\omega_I = \frac{v_p}{R_{ок}} = \frac{3,33}{0,255} = 13 \text{ рад/с.}$$

де v_p – величина лінійної швидкості переміщення агрегату, м/с;

$R_{ок}$ – радіус опорно-приводного колеса, м.

Тоді

$$M_I = \frac{1204}{13} = 92,6 \text{ Н·м.}$$

					ГР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки, $M_I = 92,6 \text{ Н} \cdot \text{м} < M_{\text{max}} = 523 \text{ Н} \cdot \text{м}$, то опорно-приводне колесо здатне забезпечити передачу потрібного моменту до валів активних очисників та не буде буксувати.

Розрахунок механізму приводу активного очисника.

Розрахунки виконуємо з метою встановлення загального передаточного відношення, яке виникає в схемі опорно-приводне колесо – вал активного очисника, до якого жорстко закріплюються вирізні диски. Кінематична схема механізму приводу активних очисників наведена на рис. 3.7.

Вихідними даними до розрахунків є:

$g_p = 3,33 \text{ м/с}$ – величина лінійної швидкості переміщення агрегату;

$n_{III} = n_{IV} = 440 \text{ об/хв}$ – частота обертання валів дискових очисників.

Частоту обертання опорно-приводного колеса визначимо з залежності:

$$n_{ок} = \frac{60 \cdot g_p}{\pi \cdot D_{ок}},$$

де $D_{ок}$ – величина діаметра опорно-приводних коліс, м; $D_{ок} = 0,51 \text{ м}$.

Тоді,

$$n_{ок} = \frac{60 \cdot 3,33}{3,14 \cdot 0,51} = 125 \text{ об/хв}.$$

Проводимо визначення загального передаточного числа механізму приводу активного очисника та розбиваємо його за ступенями:

$$U_3 = \frac{n_I}{n_{IV}} = \frac{n_{ок}}{n_{IV}},$$

					ГР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_3 = \frac{125}{440} = 0,28,$$

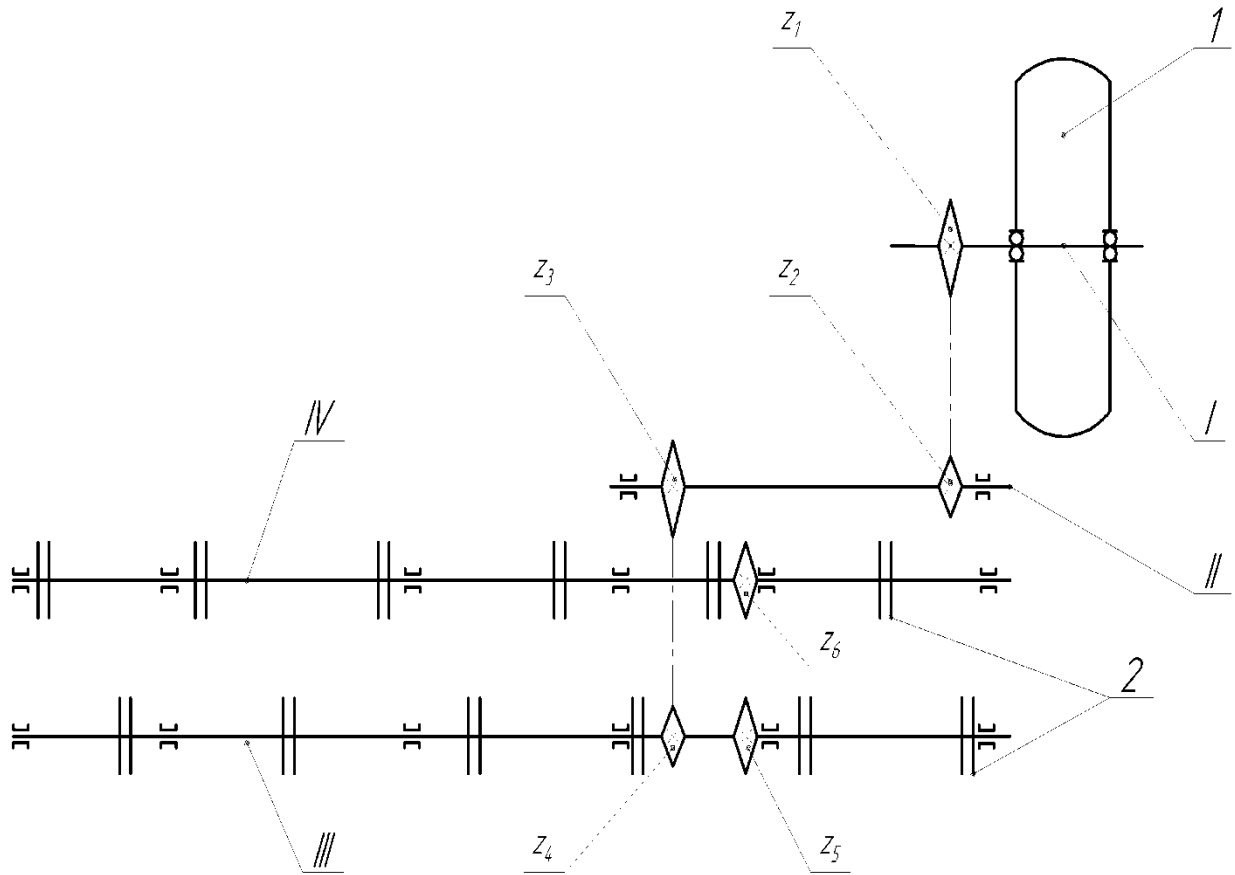


Рис. 3.7 – Кінематична схема механізму приводу очисників:

1 – опорно-приводне колесо; 2 – дискові очисники; I, II, III, IV – вали механізму приводу.

Перевіряємо частоту обертання кожного валу приводу дискового очисника, об/хв.:

$$n_{i+1} = \frac{n_i}{U_i},$$

$$n_1 = 125 \text{ об/хв.}$$

тоді,

					ГР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- другий вал:

$$n_{II} = \frac{125}{0,41} = 304,8 \text{ об/хв};$$

- третій та четвертий вали:

$$n_{III} = n_{IV} = \frac{304,8}{0,69} = 440 \text{ об/хв.}$$

Визначимо значення кутових швидкостей кожного валу, рад/с:

$$\omega_i = \frac{\pi \cdot n_i}{30},$$

- перший вал:

$$\omega_I = \frac{3,14 \cdot 125}{30} = 13,0 \text{ рад/с};$$

- другий вал:

$$\omega_{II} = \frac{3,14 \cdot 304,8}{30} = 31,9 \text{ рад/с};$$

- третій та четвертий вали:

$$\omega_{III} = \omega_{IV} = \frac{3,14 \cdot 440}{30} = 46,1 \text{ рад/с.}$$

					ГР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зважаючи на це, колова швидкість різання становитиме:

$$g_{oc} = \omega_{IV} \cdot R_{oc},$$

$$g_{oc} = 46,1 \cdot 0,075 = 3,46 \text{ м/с.}$$

Вид зірочок приймаємо, зважаючи на передаточні відношення.

Оскільки передаточне відношення між валами III та IV є одиницею, то прийmemo зірочки $z_5=z_6=12$.

Враховуючи невелике навантаження на зірочки z_4 і z_2 , то прийmemo $z_2=z_4=9$.

Кількість зубів зірочок z_3 і z_1 становитимуть:

$$z_3 = \frac{z_4}{U_2} = \frac{9}{0,69} = 13,$$

$$z_1 = \frac{z_2}{U_1} = \frac{9}{0,41} = 22.$$

Висновки

Для запропонованого технічного рішення активних очисників стояків культиваторних лап ґрунторозпушувача виконано технологічні розрахунки, які дозволили встановити їх робочі параметри і режими. Зокрема встановлено величину критичного кута затиснення відносно леза дисків та протирізальної пластини у вигляді жорстко закріпленого ножа на стояку. Крім того, виконані технологічні розрахунки параметрів котка трубчастого типу, які забезпечують виконання ним функції розбиття грудок та вирівнювання поверхні поля.

Проведені кінематичні і силові розрахунки приводу активних очисників від опорно-приводних коліс, що дозволило забезпечити виконання функції перерізання стеблової маси з мінімальними втратами потужності.

					ГР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Висновки

Проведений аналіз ефективності ґрунтообробних знарядь у різних системах землеробства підтверджує, що безполицевий обробіток є домінуючим і перспективним напрямком, який потребує подальшого розвитку та вдосконалення. Зважаючи на вивчені переваги та недоліки існуючих знарядь для такого обробітку, було запропоновано суттєво модернізувати конструкцію ґрунторозпушувача ГРН-3,9.

Запропоновані конструктивні зміни мають на меті ефективне управління рослинними рештками та значне покращення фінішного обробітку ґрунту, що є критично важливим для підвищення загальної ефективності безполицевих технологій. Ці інновації сприятимуть створенню оптимальних умов для росту сільськогосподарських культур, одночасно забезпечуючи зменшення експлуатаційних витрат та мінімізацію негативного впливу на довкілля.

Зокрема, впровадження дискового очисника є ключовим нововведенням. Цей елемент, що складається з двох активних дисків, розташованих перед основним робочим органом, ефективно захоплює стебла бур'янів та пожнивні рештки за допомогою спеціальних вирізів. Захоплена маса спрямовується безпосередньо на ніж, жорстко закріплений на стояку. Такий підхід створює новий технологічний процес різання, де ніж виступає в ролі протирізальної пластини. Це забезпечує ефективне перерізання рослинних решток, запобігаючи їхньому намотуванню та накопиченню на робочих органах ґрунторозпушувача.

Крім того, запропоновано замінити традиційний голчастий коток на ребристо-трубчастий. Це покращення дозволить не лише ефективніше подрібнювати грудки ґрунту, але й значно зменшити ерозійні процеси. Ребристо-трубчастий коток формує більш стабільну структуру поверхні ґрунту, що є вирішальним для збереження його родючості та запобігання вітровій та водній ерозії.

					ГР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для запропонованих технічних рішень, зокрема активних очисників стояків культиваторних лап та ребристо-трубчастого котка, були виконані детальні технологічні розрахунки. Це дозволило точно встановити їхні робочі параметри та режими. Зокрема, визначено величину критичного кута затиснення відносно леза дисків та протиризальної пластини (ножа на стояку). Також проведені розрахунки параметрів трубчастого котка, що гарантують його ефективну функцію розбиття грудок та вирівнювання поверхні поля. Додатково, кінематичні та силові розрахунки приводу активних очисників від опорно-приводних коліс підтвердили можливість ефективного перерізання стеблової маси з мінімальними втратами потужності.

					ГР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

20. Методичні вказівки з курсу «Деталі машин і основи конструювання» для студентів спеціальності 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка освітні програми «Авіаційні двигуни та енергетичні установки», «Технології виробництва авіаційних двигунів та енергетичних установок» 131 Прикладна механіка освітня програма «Обладнання та технології ливарного виробництва» всіх форм навчання. / Укл. Н.О. Задоя, О.А. Алексєєв. – Запоріжжя, ЗНТУ, 2019 – 62 с.

21. Деталі машин і основи конструювання. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 131 Прикладна механіка, 133 Галузеве машинобудування / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. О. П. Полешко, В. Л. Дубнюк, О. М. Степура. – Електронні текстові дані (1 файл: 3.53 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 146 с.
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/60344>.

					ГР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		