

Центральноукраїнський національний технічний університет
Агротехнічний факультет
Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

“ ____ ” _____ 2026 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:

«Удосконалення конструкції котка-подрібнювача
рослинних решток»

Виконав здобувач вищої освіти IV
курсу, групи ГМ-22-1

ОПП «Галузеве машинобудування»

спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

_____ Черненко Анатолій Євгенович

« ____ » _____ 2026 р.

Керівник проекту

професор., докт. техн. наук

_____ Василь САЛО

« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент

_____ доц. Олександр СКІБІНСЬКИЙ

Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет Агротехнічний
Кафедра Сільськогосподарського машинобудування
Рівень вищої освіти I-й , бакалавр
Галузь знань Механічна інженерія
Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма
Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« » 2026 року

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ПЕРШИМ
(БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ
ОСВІТИ**

Черненко Анатолія Євгеновича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Удосконалення конструкції котка-подрібнювача рослинних решток
2. Керівник роботи (проекту) Сало Василь Михайлович
докт. техн.. наук, професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
3. Строк подання роботи до захисту 01.06.2026р
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи (проекту) Підвищення технічного рівня котка-подрібнювача рослинних решток

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-4	Сало В.М.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Розробка змісту модернізації конструкції котка – подрібнювача рослинних решток	01.03.26 – 05.04.26	
	Виконання конструкторської частини роботи	06.04.26 – 25.04.26	
	Розробка та оформлення графічного матеріалу роботи	26.04.26 – 15.05.26	
	Оформлення пояснювальної записки	16.05.26 – 01.06.26	

Дата видачі завдання

« 23 » 02 2026 р.

Підпис керівника

_____ Сало В.М.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

« 23 » 02 2026 р.

Підпис здобувача

_____ Черненко А.Є....
(прізвище та ініціали)

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	Кількість	Примітки
				<u>Документація загальна</u>		
				Заново розроблена		
A4			КРНВ 00.000. ПЗ	Пояснювальна записка	40	
A0			КП 00.000 ЗВ	Коток-подрібнювач КП-4,5	1	
				<u>Документація по складальних</u>		
				<u>одиницях</u>		
				Заново розроблена		
A1			КП 00.010 СК	Ножовий барабан	1	
A2			КП 00 010 001 СК	Обойма циліндрична	1	
				<u>Документація по деталях</u>		
				Заново розроблена		
A3			КП 120. 050. 406	Ніж	1	
A3			КП 010. 601	Вісь	1	
				КП 00.000 ВР		
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	Відомість роботи	
Розробив	Черненко А. Є.					
Перевірів	Сало В.М.					
Н. контр.	Артеменко Д.Ю					
Затвердив	Васильковський				ЦНТУ зр.ГМ -22-1	

Анотація

В роботі представлена інформація про стан виконання технологічних процесів подрібнення рослинних решток. Приділена увага важливості забезпечення, як надійності їх технологічного процесу так і якості його виконання.

Для покращення показників роботи котка-подрібнювача рослинних решток запропоновано обладнувати ножові барабани циліндричними обоймами, призначеними для очищення простору між ножами сусідніх рядів від частинок стебел подрібнених рослин.

Наведені необхідні технологічні, енергетичні, кінематичні розрахунки та розрахунки на міцність, які певною мірою підтверджують працездатність запропонованих змін.

Передбачається, що запропонована удосконалена конструкція котка-подрібнювача рослинних решток матиме вищу надійність, продуктивність та якість виконання технологічного процесу.

Ключові слова: ґрунт коток, подрібнення, рослинні рештки, якість.

Abstract

The paper presents information on the state of implementation of technological processes of grinding plant remains. Attention is paid to the importance of ensuring both the reliability of their technological process and the quality of its implementation.

To improve the performance of the roller-shredder of plant remains, it is proposed to equip knife drums with cylindrical clips designed to clean the space between the knives of neighboring rows from particles of the stems of crushed plants.

					КП 00.000 ПЗ	Лист
						6
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Зміст

№ п/п	Назва розділу, підрозділу	Стор.
	Вступ	8
2	Стан питання щодо модернізації котка-подрібнювача рослинних решток	10
2.1.	Агротехнічні передумови застосування подрібнювачів рослинних решток	10
2.2.	Конструкційні особливості машин представників основних типів подрібнювачів рослинних решток	11
2.3.	Призначення та будова машини, що підлягає модернізації	17
2.4	Аналіз конструкції машини та напрямки її удосконалення	19
3.	Конструкторська частина	21
3.1	Технологічні розрахунки	21
3.1.1	Визначення параметрів котка	21
3.2.	Енергетичні розрахунки	23
3.2.1.	Визначення тягового зусилля та продуктивності агрегату	23
3.3.	Силовий аналіз	25
3.3.1.	Перевірка рівноваги машини	25
3.3.2	Вибір гідроциліндрів керування боковими секціями	27
3.3. 3	. Вибір гідроциліндрів переводу машини в робоче положення та назад	29
3.3.4.	Визначення зусиль, що діють на транспортні колеса	30
3.4.	Розрахунки на міцність	31
3.4.1.	Розрахунок на міцність підшипників опорних коліс	31
3.5	Перевірка обраного агрегату на поздовжню стійкість	35
	Висновки	37
	Література	38
	Додатки	39

Вступ

Сільське господарство й надалі відіграє одну з ключових ролей в економічному розвитку України. Після здобуття незалежності в державі відбулися істотні трансформації у структурі землекористування та форм власності на сільськогосподарські угіддя. Унаслідок цього була порушена система науково обґрунтованої сівозміни сільськогосподарських культур як у господарствах середнього розміру (площею до 800 га), так і у великих аграрних підприємствах. У дрібних господарствах, як правило, одна і та сама культура вирощується на незмінних площах упродовж кількох років. Поєднання таких чинників з відсутністю внесення органічних добрив, інтенсивним використанням мінеральних добрив і гербіцидів призводить до істотного зниження родючості ґрунтів [1].

На сучасному етапі Україна разом з Аргентиною посідає 3–4 місця у світі за обсягами експорту насіння соняшнику. Крім того, вітчизняне сільське господарство суттєво впливає на формування світових цін на зерно кукурудзи, займаючи значну частку ринку після США, Канади та Австралії [1].

У зв'язку з цим актуальним завданням є розширення та оновлення парку машин, призначених для вирощування зазначених культур. Однією з найбільш проблемних операцій, як у минулому, так і нині, залишається подрібнення рослинних решток кукурудзи та соняшнику після збирання врожаю з подальшим їх загортанням у ґрунт. Застосування важких дискових борін не забезпечило необхідної якості виконання цього технологічного процесу. Отже, зберігається актуальність розробки конструкції машини,

					КП 00.000.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Черненко А						
Перев.		Сало В.М.						
Н.контр.		АртеменкоД.						
Затвер.		Васильковський						
					Літера			Аркуш
								8
								ЦНТУ, гр. ГМ -22-1

здатної ефективно подрібнювати рослинні рештки до дрібних фракцій із заданою рівномірністю розподілу подрібненої маси.

Нині агровиробникам пропонується широкий спектр подрібнювачів рослинних решток вітчизняного та іноземного виробництва, однак їх технічні та експлуатаційні характеристики не завжди відповідають вимогам споживачів. До основних недоліків належать недостатня надійність машин, низька якість виконання технологічного процесу, а в окремих випадках — нестабільність його реалізації, що зумовлено неналежною адаптацією конструкцій до конкретних умов експлуатації. Додатково слід враховувати значну різноманітність механіко-технологічних властивостей рослинних матеріалів, які підлягають подрібненню.

У зв'язку з наведеним виникає об'єктивна потреба в удосконаленні існуючих подрібнювачів рослинних решток, а також у розробці принципово нових технічних рішень, спрямованих на підвищення ефективності їх роботи.

					КП 00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

2. Стан питання щодо модернізації котка-подрібнювача рослинних решток

2.1 Агротехнічні передумови застосування подрібнювачів рослинних решток

Практика сільського господарства провідних країн світу свідчить, що одним із найбільш дієвих способів скорочення втрат гумусу в ґрунті та підвищення його родючості без значних капіталовкладень є раціональне використання пожнивних решток, які залишаються на поверхні поля після збирання врожаю. Для цього стерню, стебла бур'янів і валки соломи обробляють спеціалізованими машинами, що здійснюють подрібнення рослинної маси на фрагменти довжиною до 15 см з подальшим рівномірним розподілом по площі поля.

Техніку такого призначення зазвичай називають мульчувачами. Вони є ефективними агрегатами для подрібнення як низькорослих, так і високорослих рослинних решток та забезпечують рівномірне розкидання по поверхні поля залишків товстостеблових культур з метою подальшого загортання їх у ґрунт.

Застосування мульчувачів дає можливість:

- досягти високої якості подрібнення рослинної маси завдяки значній частоті обертання ротора, його великому діаметру, подовженим ножем і їхній значній кількості на одиницю довжини робочого органа;
- прискорити процес перетворення рослинних решток у доступні для рослин поживні елементи;
- ефективно знижувати засміченість полів бур'янами та зменшувати чисельність шкідників сільськогосподарських культур;
- обирати оптимальну робочу ширину агрегату для забезпечення високої продуктивності та зменшення експлуатаційних витрат.

					КП 00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

2.2. Конструкційні особливості машин представників основних типів подрібнювачів рослинних решток.

Найбільш поширеними є подрібнювачі, оснащені ротаційними робочими органами з горизонтальною або вертикальною віссю обертання.

Далі розглянемо окремі конструктивні рішення подрібнювачів рослинних решток, що розробляються та виготовляються вітчизняними виробниками, а також машини іноземного виробництва, які постачаються на український ринок.

Виробнича компанія Talex представляє подрібнювач Leopard — багатофункціональний мульчувач, призначений для подрібнення пожнивних і рослинних решток, мульчування рослинності, зрізування гілок, деревини та чагарників. Завдяки своїм конструктивним особливостям агрегат є ефективним для усунення залишків стерні кукурудзи, а також для обробітку луків і пасовищ. Мульчувач Leopard належить до широкого класу машин подібної конструкції, у яких робочий вал із ножами має горизонтальне розташування осі обертання. Агрегат виготовляється з різною робочою шириною — 2,0; 2,5 та 2,8 м, що дає змогу підібрати оптимальний варіант залежно від умов експлуатації. Конструкція машини забезпечує стабільну та надійну роботу протягом усього строку служби. Регулювання висоти зрізу здійснюється за допомогою колісної підвіски з можливістю налаштування [2] (рис. 2.1).



					КП 00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11



Рис. 2.1. Подрібнювач Leopard–280

У подрібнювачі Leopard застосовуються Y-подібні ножі, однак конструкцією передбачена можливість встановлення інших типів робочих органів, зокрема молотків, які забезпечують більш інтенсивне подрібнення рослинної маси. Привід машини здійснюється від вала відбору потужності трактора з номінальною частотою обертання 540 хв^{-1} . Для захисту агрегату від перевантажень у приводі використовуються спеціальні запобіжні муфти на шківках, що унеможлиблює пошкодження машини навіть у разі повного заклинювання робочого вала.

До основних недоліків експлуатації подібних машин належать значна енергоємність процесу та ефективність подрібнення переважно тих рослинних решток, які розташовані над поверхнею поля. Залишки просапних культур, що знаходяться на поверхні ґрунту в міжряддях, практично не піддаються подрібненню. Зменшення висоти зрізу призводить до контакту ножів, які обертаються з великою швидкістю, з поверхнею ґрунту, що є небажаним з екологічної точки зору. Технічні характеристики подрібнювача наведено в таблиці 2.1. До цієї ж групи машин належать подрібнювачі компанії MASCHIO GASPARD0 [3,4].

Таблиця 2.1

Технічна характеристика подрібнювачів Leopard

Марка машини	Leopard–200	Leopard–250	Leopard–280
Ширина захвату, м	2,0	2,5	2,8
Кількість ножів, шт	64	80	88
Продуктивність, га/год	1,5	2,0	2,5
Необхідна потужність на привід, к.с.	55	75	90
Частота обертання ВВП, хв^{-1}	540		

					КП 00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Габаритні розміри, мм:	850		
	— довжина	2200	2700
	— ширина		3000
	— висота	450	
Вага, кг	520	610	665

ВАТ «Красилівський машинобудівний завод» випускає подрібнювач рослинних решток ПР–4,5, розроблений ННЦ "ІМЕСГ", який забезпечує скошування рослин або їх залишків на двох рівнях [5, 6] (рис.2.2).



Рис. 2.2. Подрібнювач рослинних решток ПР–4,5

Подрібнювач належить до класу машин із вертикальним розташуванням осей обертання роторів. Його конструкція включає раму, встановлену на двох опорних колесах, розміщених у задній частині, які оснащені гідроциліндрами для переведення агрегату в транспортний режим. У передній зоні рами змонтовано сницю, що забезпечує агрегування подрібнювача з трактором.

На рамі закріплено центральну секцію, до якої шарнірно приєднані два бокові крила. Крила обладнані гідроциліндрами, призначеними для їх складання під час переведення машини у транспортне положення.

У передній частині рами встановлено роздавальний конічний редуктор, ведучий вал якого з'єднується з валом відбору потужності трактора. Три ведені вали редуктора через проміжні карданні передачі передають обертання на ведучі вали конічних редукторів, розміщених на

					КП 00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

платформах центральної та бокових секцій. На вихідних валах цих редукторів змонтовано центральний і два бокових роторних різальних апарати.

Усі три різальні апарати мають однакову конструкцію і виконані за двоярусною схемою. Ножі верхнього та нижнього ярусів закріплені співвісно на обох кінцях тримача за допомогою шарнірів.

До переваг подрібнювача ПР–4,5 належить можливість його ефективної роботи в агрегаті з тракторами тягових класів 1,4 і 2,0. Оскільки операції з подрібнення пожнивних решток зазвичай виконуються восени одночасно з основним обробітком ґрунту, трактори тягового класу 3,0 і вище в цей період задіяні на оранці, тоді як машини класів 1,4 і 2,0 використовуються менш інтенсивно.

Таблиця 2.2

Технічна характеристика подрібнювача рослинних решток ПР–4,5

Назва характеристики	Значення характеристики
Робоча ширина захвату	4,5 м
Максимальна робоча швидкість	10 км/год
Кількість робочих органів	3
Діаметр різального апарату	1,5 м
Кількість ярусів зрізу	2
Кількість ножів одного ярусу різального апарата	2
Відстань між ножами верхнього і нижнього ярусів	15 см
Загальна кількість ножів	12
Частота обертання різального апарата	1000 хв ⁻¹
Висота зрізу рослинних решток	50–200 мм
Максимальна довжина подрібнених решток	15 см
Маса подрібнювача	1900 кг

Недоліками розглянутої конструкції є її ускладненість, обмежений діапазон висоти зрізу рослинних решток, а також відсутність ефективного

					КП 00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

подрібнення довгостеблових залишків, розташованих безпосередньо на поверхні ґрунту або на незначній відстані від неї. Значна габаритна довжина агрегату ускладнює копіювання мікрорельєфу поля, що може призводити як до пропусків у зоні обробітку, так і до заглиблення ножів у ґрунт. Застосування великої кількості редукторів і карданних валів негативно впливає на надійність машини. Крім того, значний діаметр роторних подрібнювачів спричиняє виникнення гіроскопічного ефекту та небажаних коливань, які передаються на конструкцію агрегату й прискорюють зношування та руйнування його елементів. У зв'язку з цим використання машини на полях із похилим рельєфом є недоцільним.

З метою забезпечення повноцінного подрібнення всієї маси пожнивних решток незалежно від їх положення відносно поверхні поля на косарках-подрібнювачах позаду різального бруса встановлюють стеблепіднімач. Цей елемент виконують у вигляді повзуна зі спареними криволінійними пружними пальцями, розташованими перпендикулярно до напрямку руху та механізму приводу, при цьому нижні кінці пальців відхилені у протилежні боки від вертикальної осі.

Обидві групи розглянутих машин мають привід від вала відбору потужності трактора, що зумовлює підвищені енерговитрати та ускладнення конструкції.

Приватне підприємство Савіцького М.І. виготовляє подрібнювачі рослинних решток КП-4,5, які були розроблені на кафедрі сільськогосподарського машинобудування Центральноукраїнського національного технічного університету [7] (рис. 2.3).

Ключовою відмінністю цієї машини від конструкцій, розглянутих раніше, є принцип передачі руху основним робочим органам. У попередніх зразках привід здійснюється від вала відбору потужності трактора або від його гідравлічної системи.

У подрібнювачі КП-4,5 обертання подрібнювальних барабанів забезпечується за рахунок їх контакту з поверхнею поля та рослинними

					КП 00.000.ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рештками. Такий принцип роботи дає змогу суттєво скоротити енергетичні витрати не лише на привід робочих органів, але й дозволяє використовувати для агрегатування трактори меншої потужності.



Рис. 2.3. Подрібнювач рослинних решток КП–4,5

Значний діаметр барабанів сприяє створенню підвищеного зусилля під час подрібнення. Водночас основним недоліком подібних машин є схильність до забивання міжножового простору рослинно-ґрунтовою масою.

Таким чином, подрібнювачі рослинних решток доцільно класифікувати за такими ознаками:

за способом приводу робочих органів:

- активні без окремого приводу;
- – активні з приводом від ВВП або від гідросистеми трактора;

за орієнтацією осі обертання робочих органів:

- з горизонтальним розташуванням осі обертання;
- з вертикальним розташуванням осі обертання;

за конструктивним виконанням робочих органів:

					КП 00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

- молоткового типу;— ножового типу;
за способом закріплення робочих органів відносно осі обертання
- шарнірно рухомі;ї
- жорстко закріплені.

Найбільш перспективним напрямом подальшого використання та вдосконалення, на нашу думку, є застосування котків-подрібнювачів рослинних решток. За умови надійного забезпечення технологічного процесу такі агрегати під час роботи на швидкостях до 25 км/год здатні забезпечувати якісне подрібнення рослинної маси та високу продуктивність.

2.3. Призначення та будова машини, що підлягає модернізації

Коток-подрібнювач КП–4,5Г80 використовується для післяжнивного подрібнення рослинних решток листостеблової маси кукурудзи та соняшнику з подальшим їх загортанням у ґрунт іншими ґрунтообробними агрегатами.

Конструктивно коток-подрібнювач включає раму 1 (рис. 2.4), у передній частині якої розміщений причіпний механізм. До рами з обох боків через шарнірні з'єднання приєднані секції 3 і 4, а в задній частині — секція 5. На кожній секції змонтовані барабани 6, встановлені на опорах 7.

Перехід котка-подрібнювача з транспортного положення в робоче здійснюється шляхом опускання бокових секцій 3 і 4 за допомогою гідроциліндрів 8. Після цього гідроциліндрами 9 підіймаються опорні колеса 2, що забезпечує опускання рами машини. Переведення агрегату з робочого положення в транспортне виконується у зворотній послідовності. Гідроциліндри 8 і 9 через гідропровід 10 під'єднані до гідросистеми трактора.

					КП 00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Коток (рис. 2.5) складається з барабана 1 на якому встановлено ножі 2. Простір між ножами 2 закрито жолобами 3 для зменшення налипання ґрунту та рослинних решток. Ножі 3 та жолоби кріпляться до барабана за допомогою елементів різьбових з'єднань 4–7.

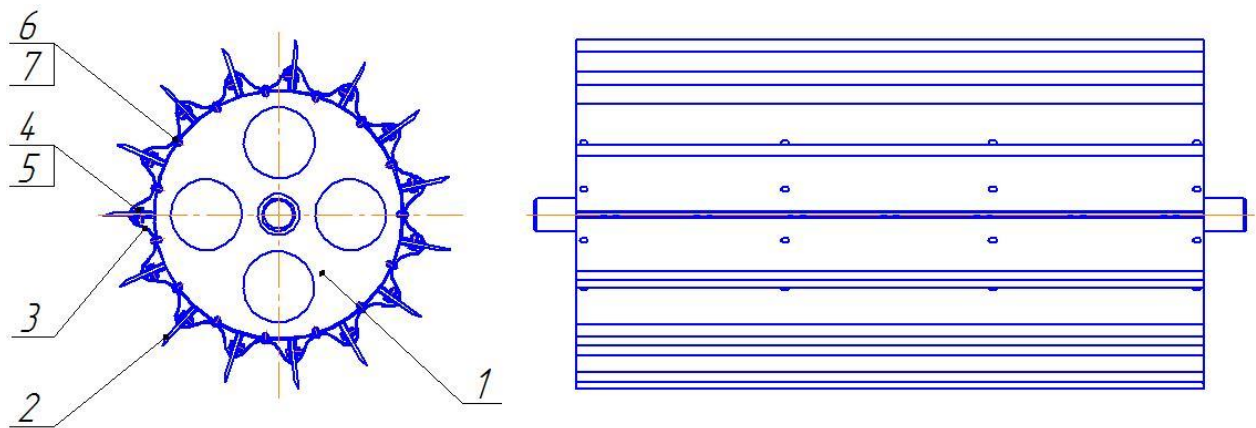


Рис. 2.5. Коток

2.4. Аналіз конструкції машини та напрямки її удосконалення

Аналіз конструктивних особливостей машини свідчить про недостатню ефективність самоочищення міжножового простору від налиплого ґрунту та рослинних залишків. У зв'язку з цим виникає необхідність удосконалення процесу очищення зазначеної зони шляхом застосування спеціального пристрою, який би відповідав агротехнічним вимогам до подрібнення рослинних решток, не порушував технологічний процес роботи машини та не спричиняв додаткових енергетичних витрат.

Такий пристрій повинен бути пасивним або активним без використання приводу. Водночас досвід експлуатації пасивних очисників в інших сільськогосподарських машинах (чистики сферичних дисків важких дискових борін, чистики протягувальних вальців русел кукурудзозбиральних машин і комбайнів тощо) показує, що вони не лише

збільшують енергоспоживання, а й знижують тривалість безперервної роботи агрегатів, що робить їх застосування недоцільним.

Більш раціональним є використання енергії самих робочих органів машини. Оскільки котки в процесі роботи здійснюють обертальний рух, доцільно застосувати очисники, які також обертаються та розміщуються в міжножовому просторі. Найефективнішим варіантом є використання пристрою, що обмежує потрапляння ґрунту і рослинних решток у зазначену зону, не створюючи при цьому перешкод для технологічного процесу.

З огляду на те, що внутрішня поверхня міжножового простору за формою наближена до циліндричної, доцільним є застосування очисника циліндричної форми. Таким чином, пропонується використовувати трубчасті циліндричні обмежувачі, з'єднані між собою, які можуть обертатися разом із котком та переміщуватися в міжножовому просторі (рис. 2.6).

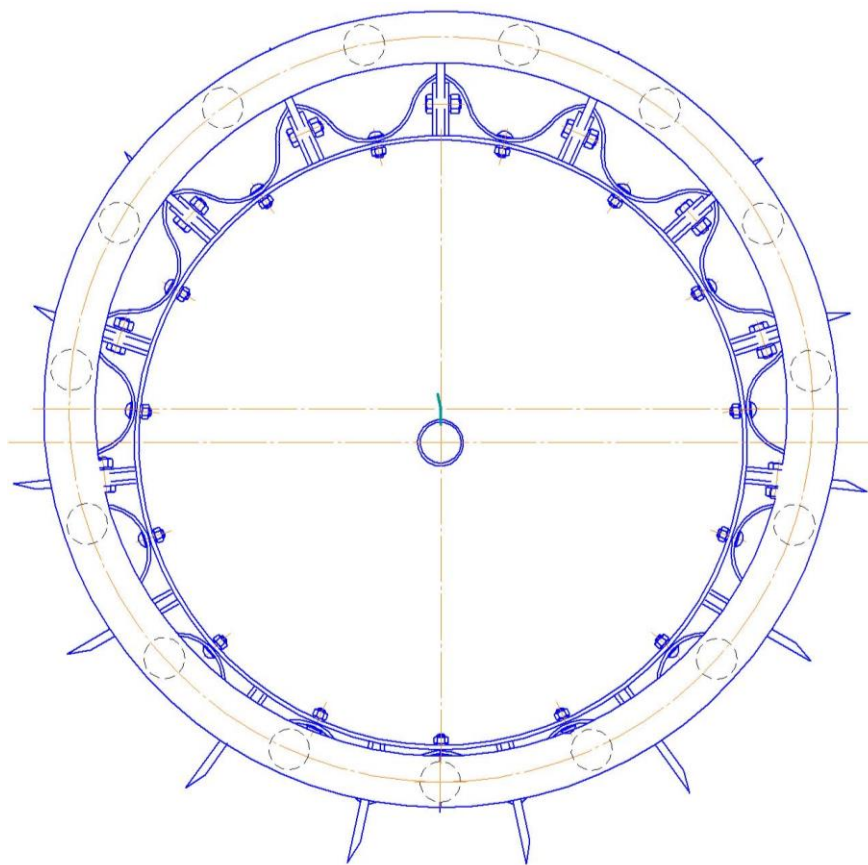


Рис. 2.6. Коток з очисною обоймою

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Технологічні розрахунки

3.1.1. Визначення параметрів котка

До основних параметрів котка належать діаметр і ширина. При визначенні діаметра котка враховують поздовжню деформацію ґрунту. При розрахунках звичайних ґрунтообробних котків це є можливим за умови, що кут обхвату котка ґрунтом α (рис. 3.1) знаходитиметься у межах 20° . Припускають, що при цьому ґрунтовий вал, який утворюється перед котком має незначний розмір [8,9].

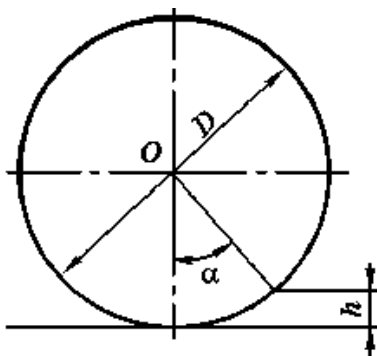


Рис. 3.1. Схема для розрахунку діаметра котка

На підставі рис.. 3.1 видно, що

$$\cos \alpha = \frac{D - 2h}{D} = 1 - \frac{2h}{D}, \quad (3.1)$$

де D – діаметр котка;

h – глибина прогрузування котка в ґрунт.

З виразу (3.1) визначаємо діаметр котка:

$$D \geq \frac{2h}{1 - \cos \alpha}. \quad (3.2)$$

Підставимо максимальне значення кута α та граничні значення глибини колії котка h в рівняння (2.2) і отримаємо

$$D_{\min} \geq \frac{2 \cdot 20}{1 - \cos 20} = 663 \text{ мм} = 0,663 \text{ м};$$

$$D_{\max} \geq \frac{2 \cdot 25}{1 - \cos 20} = 829 \text{ мм} = 0,829 \text{ м}.$$

Приймаємо діаметр котка $D=775$ мм.

Конструкційну ширину котка вибираємо з урахуванням умов пристосування його до рельєфу поверхні поля. Для вирівняних полів ширина котка може становити до 2 м, а для гірського рельєфу чи пересічених полів – не більше 1 м.

Ширину котка залишаємо такою ж як і в базовій машині, але з врахуванням запропонованого до використання самоочисного пристрою вона становитиме 1,53 м.

Конструкційні параметри більшості котків пов'язані з коефіцієнтом об'ємної деформації ґрунту:

$$h = \frac{1,3\sqrt[3]{G^2}}{\sqrt[3]{q_0^2 B^2 D}}, \quad (3.3)$$

де G – маса котка, Н;

q – коефіцієнт, що характеризує об'ємну деформацію ґрунту, Н/см³.

Звідки

$$q_0 = \frac{\sqrt{2,2G^2}}{\sqrt{h^3 B^2 D}} = \sqrt{\frac{2,2G^2}{h^3 B^2 D}} = \sqrt{\frac{2,2 \cdot 480^2 \cdot 9,81^2}{2,5^3 \cdot 153^2 \cdot 77,5}} = 0,24 \text{ Н/см}^3.$$

Зусилля необхідні для перекочування колеса чи котка вперше були визначені науковцями Грандвуазьє, а пізніше підтверджені В.П. Горячкиним.

					КП 00.000.ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зусилля P на перекочування не гладких котків визначають за формулою

$$P = 0,86k \sqrt[3]{\frac{G^4}{q_0 BD^2}}. \quad (3.4)$$

де $k = 1,0 \dots 1,3$ – коефіцієнт, що враховує додатковий опір від деформації ґрунту, яку здійснюють не гладкі елементи котка.

Для суцільних кільчастих чи рубчастих котків $k=1,1 \dots 1,2$, для комбінованих – $k = 1,1 \dots 1,3$.

Враховуючи те, що при роботі на котки також діє маса всієї машини, то опір з боку ґрунту на їх перекочування визначають наступним чином

$$P = 0,86k \sqrt[3]{\frac{G_{\text{маш}}^4}{q_0 BD^2}} = 0,86 \cdot 1,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{18500^4}{0,24 \cdot 455 \cdot 77,5^2}} = 6296 \text{ Н.}$$

3.2. Енергетичні розрахунки

3.2.1. Визначення тягового зусилля та продуктивності агрегату [8,9]

Скориставшись відомими технічними характеристиками тракторів, та врахувавши дані питомих опорів сільськогосподарських машин при виконанні відповідних технологічних операцій маємо рівність:

$$XB = kP_{\text{зак}}, \quad (3.5)$$

де X – питоме тягове зусилля робочої машини, Н/м;

B – ширина захвату агрегату, м;

k – коефіцієнт, що характеризує використання тягового зусилля трактора (на відповідних технологічних операціях $k=0,90 \dots 0,97$);

$P_{\text{зак}}$ – тягове зусилля трактора на прийнятій робочій швидкості.

					КП 00.000.ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З попередніх розрахунків відомо

$$XB = P = 6296 \text{ Н},$$

де P_{zx} – реальний тяговий опір машини

$$P_T = \frac{P_{zx}}{k} = \frac{6296}{0,93} = 6770 \text{ Н}.$$

Для трактора ЮМЗ-6Л–80 дане тягове зусилля відповідає роботі агрегату на 3-й передачі зі швидкістю $v=11,1$ км/год і тяговій силі

$P_{зак} = 9,6$ кН. Максимальна робоча швидкість руху згідно АТВ становить 15 км/год. Перевищення допустимої швидкості немає.

Визначимо коефіцієнт корисної дії трактора:

$$\eta_T = P_T / P_{зак} \cdot 100\% = 6770 / 11,1 = 70,3\%$$

Теоретична продуктивність агрегату становить:

$$W_T = 0,1 \cdot B \cdot v_T, \quad (3.6)$$

де $v_T=11,1$ км/год – швидкість агрегату

$$W_T = 0,1 \cdot 4,55 \cdot 11,1 = 5,05 \text{ га/год}$$

Експлуатаційна продуктивність агрегату:

$$W_e = 0,1 \cdot B \cdot v_T \cdot \tau, \quad (3.7)$$

де $\tau = 0,84$ – коефіцієнт використання робочого часу

$$W_e = 0,1 \cdot 4,55 \cdot 11,1 \cdot 0,84 = 4,24 \text{ га/год}$$

					КП 00.000.ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3. Силовий аналіз

3.3.1.Перевірка рівноваги машини

Конструкція машини передбачає використання симетричної схеми розташування робочих органів. Складемо схему сил що діють на робочі органи під час роботи агрегату (рис. 3.2).

Варто враховувати, що при несиметричному розташуванні котків відносно поздовжньої осі машини виникають крутні моменти, які повертають її в горизонтальній площині навколо точки з'єднання з трактором.

Баланс моментів сил навколо цієї точки має вигляд

$$q_1 \cdot B_1 \cdot x_1 + q_3'' \cdot B_3 \cdot x_3'' - q_2 \cdot B_2 \cdot x_2 - q_3' \cdot B_3 \cdot x_3' = 0, \quad (3.8)$$

де q_1 – розподілений опір перекочуванню лівого котка;

q_2 – розподілений опір перекочуванню правого котка;

q_3' , q_3'' – розподілений опір перекочуванню правої та лівої половини центрального котка

$$P_1 = q_1 \cdot B_1; P_2 = q_2 \cdot B_2; P_3' = q_3' \cdot \frac{1}{2} B_3; P_3'' = q_3'' \cdot \frac{1}{2} B_3. \quad (3.9)$$

З урахуванням того, що котки мають однакову ширину, приймаємо

$$B_1 = B_2 = B_3 = B. \quad (3.10)$$

Середина заднього котка співпадає з віссю симетрії машини, отже буде правильним наступний вираз

$$q_3' \cdot \frac{1}{2} B_3 = q_3'' \cdot \frac{1}{2} B_3 = \frac{1}{2} q_3 \cdot \frac{1}{2} B = \frac{1}{4} q_3 \cdot B. \quad (3.11)$$

					КП 00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

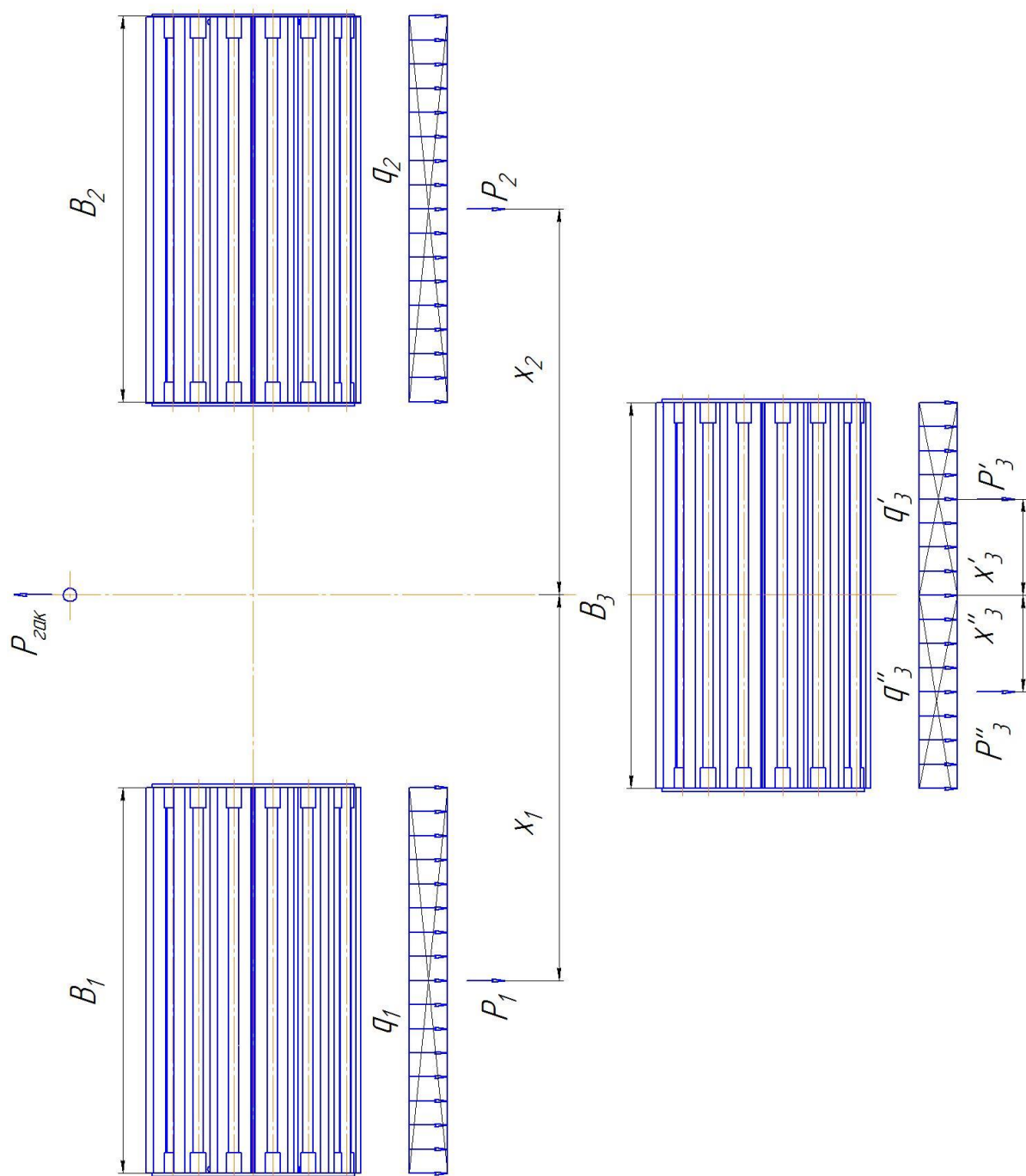


Рис. 3.2. Схема сил, які діють на коток в горизонтальній площині

За таких умов рівняння балансу моментів сил можна записати наступним чином

$$P_1 \cdot x_1 - P_2 \cdot x_2 = 0. \quad (3.12)$$

Аналізуючи отримане рівняння можна зробити наступні висновки:

– На рівновагу машини також впливає точність виготовлення котків, а саме як відрізняються їх маси після складання та їх розташування відносно вісі машини

$$P_1 \cdot x_1 - P_2 \cdot x_2 \neq 0; \quad (3.13)$$

– При роботі машини в полі її рівновага також залежить від локального значення різних впливових факторів, які змінюють опір на перекочування котків - тип ґрунту, його щільність, вологість, кількість рослинних решток тощо.

З урахуванням цього формулу (3.12) можна записати як

$$\begin{cases} P(x_1 - x_2) = 0; \\ (P_1 - P_2)x = 0. \end{cases} \quad (3.14)$$

3.3.2. Вибір гідроциліндрів керування боковими секціями

Зазвичай вибір гідроциліндрів виконують за їхньою технічною характеристикою - довжина штоку, тиск у гідросистемі, зусилля на штоку.

На підставі рис. 3.3 в поперечній площині діють дві сили:

$P_{шт}$ – зусилля на штоковій гідроциліндра;

P_C – маса секції, $P_C = 5468$ Н.

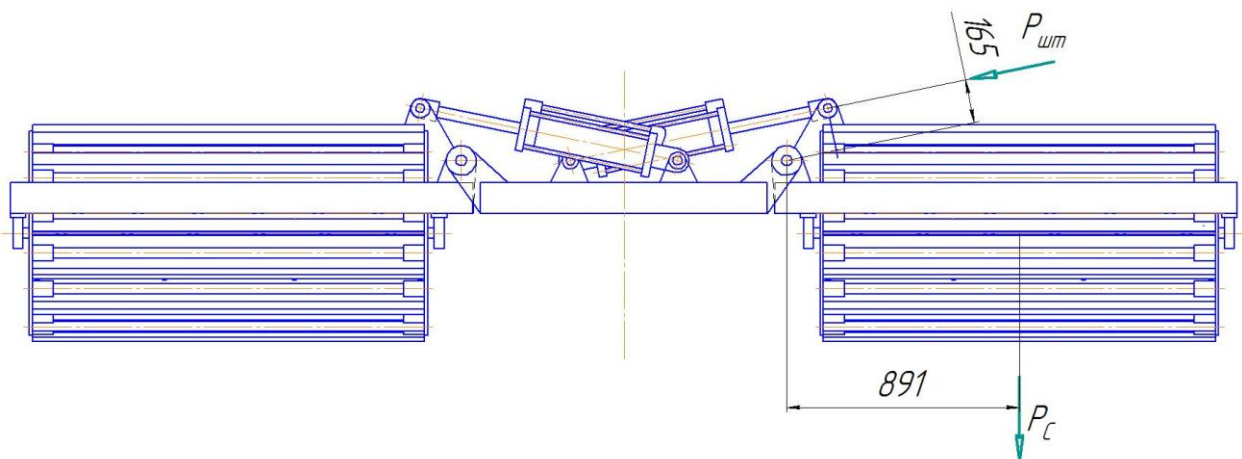


Рис. 3.3. Схема для визначення зусилля на штокові гідроциліндра

Для того, щоб відбувалося піднімання котка необхідно, щоб момент сили на штоку гідроциліндра був більшим за момент сили маси секції

$$0,165 \cdot P_{um} > 0,891 \cdot P_C. \quad (3.15)$$

Звідки

$$P_{um} = \frac{0,891 \cdot P_C}{0,165} = \frac{0,891 \cdot 5468}{0,165} = 29527 \text{ Н.}$$

Вибираємо гідроциліндр з максимальним зусиллям при вході в 28800 Н, який має наступні технічні дані [9]:

діаметр робочої порожнини циліндра – 70 мм;

діаметр штока – 35 мм

площа поршня – 38,46 см²;

площа штока – 28,84 см².

Розрахуємо необхідний тиск для надійної роботи гідроциліндрів

$$P = \frac{4P_{um}}{\pi D^2}; \quad (3.16)$$

$$P_1 = \frac{4 \cdot 26190}{3,14 \cdot 0,07^2} = 6,81 \text{ МПа.}$$

Враховуючи те, що у гідросистемі трактора робочий тиск 16 МПа, то дані гідроциліндри є працездатними.

3.3.3. Вибір гідроциліндрів переводу машини в робоче положення та назад

Визначимо зусилля, які діють на штоках гідроциліндрів у механізмах переведення машини в транспортне положення, на підставі складеного рівняння балансу моментів сил відносно точки приєднання подрібнювача до причіпного пристрою трактора (рис. 4.5):

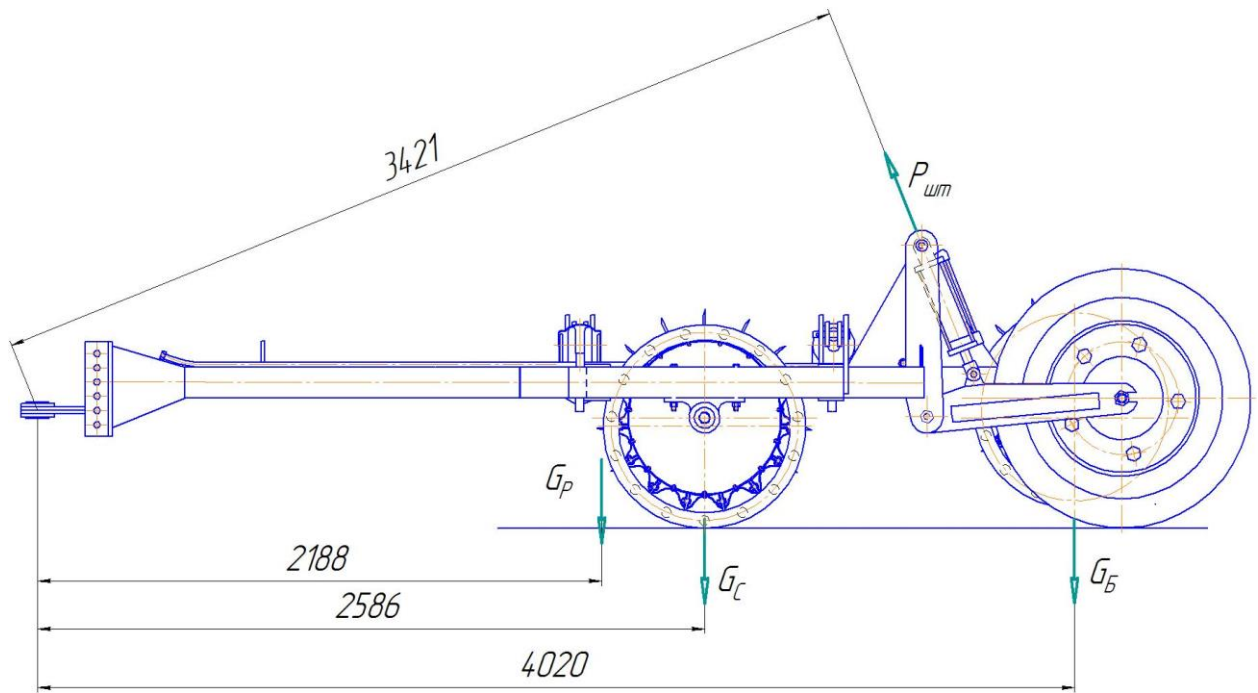


Рис. 3.4. Схема для визначення зусилля, що діють на штоках гідроциліндрів механізму переведення машин в транспортне положення

$$2,188 \cdot G_P + 2,586 \cdot 2G_C - 3,421 \cdot 2P_{шт} + 4,02 \cdot G_B = 0. \quad (3.17)$$

Визначимо зусилля на штоку гідроциліндра

$$P_{шт} = \frac{2,188 \cdot G_P + 2,586 \cdot 2G_C + 4,02 \cdot G_B}{2 \cdot 3,421} =$$

$$= \frac{2,188 \cdot 3450 + 2,586 \cdot 2 \cdot 4850 + 4,02 \cdot 4500}{2 \cdot 3,421} = 6308 \text{ Н.}$$

Вибираємо гідроциліндр з максимальним зусиллям при вході в 12600 Н, який має наступні технічні характеристики [10,11,12]:

діаметр робочої порожнини – 40 мм;

діаметр штока – 20 мм

площа поршня – 12,57 см²;

площа штока – 3,14 см².

Визначимо необхідний тиск для роботи гідроциліндрів

$$P = \frac{4P_{um}}{\pi D^2}; \quad (3.18)$$

$$P_2 = \frac{4 \cdot 6380}{3,14 \cdot 0,04^2} = 5,08 \text{ МПа.}$$

Знаючи, що у гідросистемі трактора робочий тиск становить 160 МПа, то працездатність цих гідроциліндрів теж забезпечена.

3.3.4. Визначення зусиль, що діють на транспортні колеса

Розрахуємо зусилля навантаження транспортних коліс під дією ваги машини, на підставі рівнянь балансу моментів сил відносно точки приєднання подрібнювача до причіпного пристрою трактора (рис. 3.5):

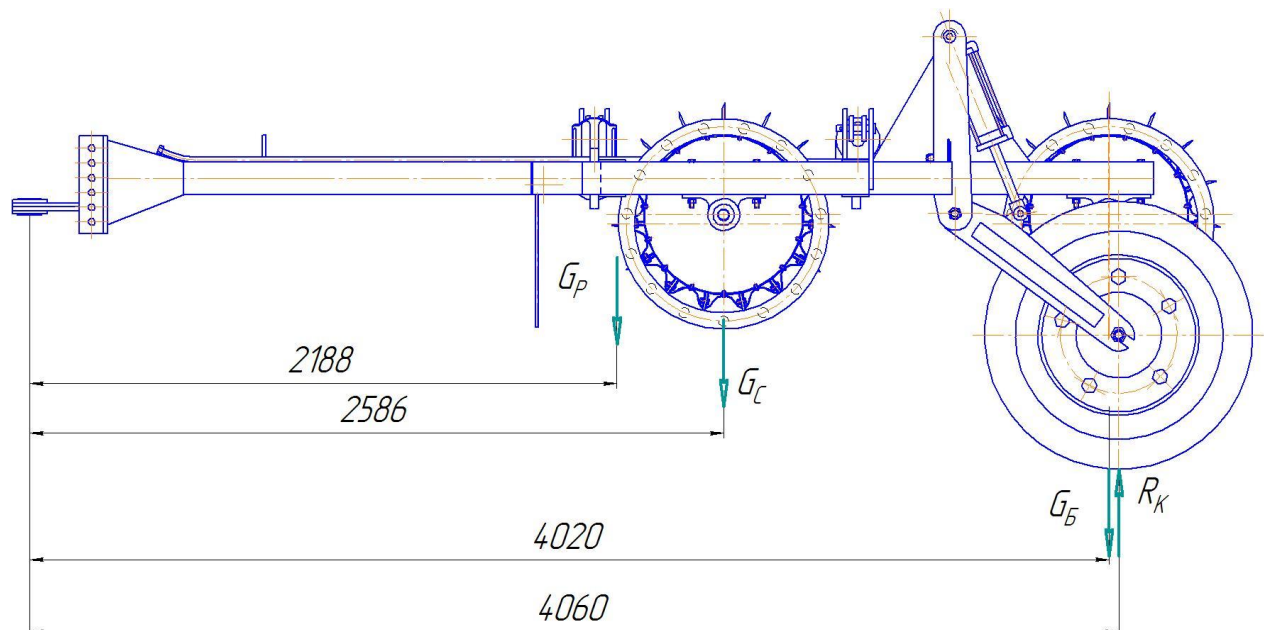


Рис. 3.5. Схема для розрахунку зусилля, що діє на транспортні колеса

$$2,188 \cdot G_P + 2,586 \cdot 2G_C + 4,02 \cdot G_B - 4,06 \cdot R_K = 0. \quad (3.19)$$

Розраховуємо зусилля, яке діє на транспортні колеса

$$R_K = \frac{2,188 \cdot G_P + 2,586 \cdot 2G_C + 4,02 \cdot G_B}{4,06} =$$

$$= \frac{2,188 \cdot 3450 + 2,586 \cdot 2 \cdot 4850 + 4,02 \cdot 4500}{4,06} = 12494 \text{ Н.}$$

3.4. Розрахунки на міцність

3.4.1. Розрахунок на міцність підшипників опорних коліс [10,11,12]

Підшипники в опорах секцій котків сприймають навантаження від ваги котка та опору перекочуванню.

Складемо схему та виконаємо розрахунок на міцність підшипникових вузлів.

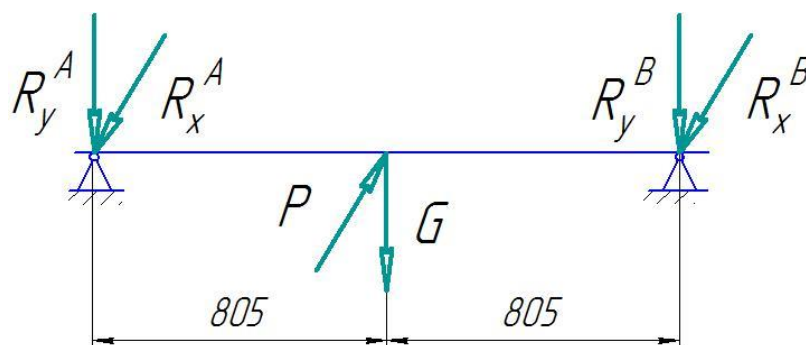


Рис. 3.6. Схема навантаження підшипників котків

В якості лівої опори *A* обираємо кульковий радіальний підшипник. В якості правої нижньої опори *B* обираємо кульковий радіально–упорний підшипник, так як в транспортному положенні на неї діє сила ваги котка.

Розрахуємо реакції опор у вертикальній площині, для чого складемо систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} R_y^B \cdot 1,61 - P \cdot \cos 20^\circ \cdot 0,805 + G \cdot 0,805 &= 0 \\ R_y^A \cdot 1,61 - P \cdot \cos 20^\circ \cdot 0,805 + G \cdot 0,805 &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (3.20)$$

де P – зусилля, яке витрачається на перекочування не гладкого котка;

G – частина маси машини, яка припадає на 1 коток

$$G = \frac{G_M - 3 \cdot G_B}{3} = \frac{18800 - 3 \cdot 4500}{3} = 1767 \text{ Н.}$$

Тоді

$$R_y^B = \frac{6296 \cdot \cos 20^\circ \cdot 0,805 - 1767 \cdot 0,805}{1,61} = 2075 \text{ Н;}$$

$$R_y^A = \frac{6296 \cdot \cos 20^\circ \cdot 0,805 - 1767 \cdot 0,805}{1,61} = 2075 \text{ Н.}$$

Розрахуємо реакції опор у горизонтальній площині, для цього складемо систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} R_x^B \cdot 1,61 - P \cdot \sin 20^\circ \cdot 0,805 &= 0 \\ R_x^A \cdot 1,61 - P \cdot \sin 20^\circ \cdot 0,805 &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (3.21)$$

Таким чином

$$R_x^B = \frac{6296 \cdot \sin 20^\circ \cdot 0,805}{1,61} = 1077 \text{ Н;}$$

$$R_x^A = \frac{6296 \cdot \sin 20^\circ \cdot 0,805}{1,61} = 1077 \text{ Н.}$$

					КП 00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Визначимо сумарні реакції в опорах

$$R_A = R_B = \sqrt{(R_y^B)^2 + (R_x^B)^2} = \sqrt{2075^2 + 1077^2} = 2338 \text{ Н.} \quad (3.22)$$

Частота обертання вісі підшипника становить

$$n = \frac{60v}{\pi \cdot D} = \frac{60 \cdot 15.15}{3.14 \cdot 0.775} = 373.54 \text{ хв}^{-1}. \quad (3.23)$$

Час роботи котків

$$L = t_p \cdot T_p \cdot T_{екс}, \quad (3.24)$$

де t_p – робочий час зміни, $t_p=8$ год;

T_p – нормативне річне завантаження котка, $T_p=15$ днів;

$T_{екс}$ – загальний термін експлуатації котка, $T_{екс}=8$ років

$$L = 8 \cdot 15 \cdot 8 = 960 \text{ год.}$$

З урахуванням конструкційного діаметра осі в місці посадки підшипників $d=40$ мм обираємо в якості опор кульковий підшипник 66408, у якого $C_0=72,2$ кН, а $C_r=42,3$ кН.

Визначаємо значення коефіцієнтів сприйняття радіального та осевого навантаження, - $X=0,45$, $Y=1,1795$. відповідно,

Визначаємо еквівалентне навантаження

$$R_E = (VXR_r + YR_a) K_B K_T, \quad (3.25)$$

де V – коефіцієнт, що враховує, яке кільце підшипника обертається. Так як обертається внутрішнє кільце, то $V=1$;

R_r – навантаження радіальне;

					КП 00.000.ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

R_a – навантаження осьове;

K_B – коефіцієнт безпеки. Так як коток працює з наявністю сильних ударів, то приймаємо $K_B=2$;

K_T – температурний коефіцієнт, $K_T=1$

$$R_E = (1 \cdot 0,45 \cdot 2338 + 1,1795 \cdot 4500) \cdot 2 \cdot 1 = 12720 \text{ Н.}$$

Розраховуємо довговічність підшипника

$$L_{10ah} = a_{23} \left(\frac{C_r}{R_E} \right)^p \frac{10^6}{60n}, \quad (3.26)$$

де a_{23} – коефіцієнт, який враховує вплив на ресурс підшипника ряду факторів - умов експлуатації, якості матеріалу тіл кілець та тіл кочення, $a_{23}=0,8$;

p – число ступеню, для кулькових підшипників рекомендовано $p=3$.

Таким чином

$$L_{10ah} = 0,8 \left(\frac{42300}{12720} \right)^3 \frac{10^6}{60 \cdot 373,54} = 1313 \text{ год.}$$

Отримане значення більше нормативного, тому працездатність підшипника протягом запланованого часу забезпечена.

					КП 00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

3.5. Перевірка обраного агрегату на поздовжню стійкість

Під час проєктування нових машин уже на початкових стадіях необхідно забезпечувати узгодження між продуктивністю агрегату, способом його агрегування та потужністю трактора [8,9]. Саме спосіб агрегування і потужність енергетичного засобу істотно впливають як на конструктивну схему машини, так і на економічну ефективність експлуатації агрегату. Водночас обов'язковою умовою є забезпечення безпечної роботи, що значною мірою визначається стійкістю агрегату.

Стійкість — це властивість машини чинити опір дії зовнішніх сил, які викликають відхилення від встановленого положення рівноваги. Порушення нормального рівноважного стану машини, що може призводити до аварійних ситуацій, проявляється у вигляді перекидання; сповзання або бокового заносу; втрати керованості колісного рушія внаслідок надмірного зменшення навантаження на керовані колеса або їх перевантаження; а також зниження надійності та довговічності коліс, осей і шин через перевищення допустимих навантажень.

Стійкість колісних машин залежить від величини колісної бази та колії, положення центра мас, зчеплення коліс із ґрунтом, стану поверхні поля чи дороги, а також від кутів нахилу рельєфу. Порушення стійкості машинно-тракторного агрегату може мати як поздовжній, так і поперечний характер.

Поздовжня стійкість машинно-тракторного агрегату переважно визначається умовами перекидання трактора. Перекидання в поздовжній площині можливе під час руху трактора на підйом або спуск.

Далі розглядається умова поздовжнього перекидання колісного трактора ЮМЗ-6Л з причіпним котком-подрібнювачем ПК-4,5, який рухається на підйом під кутом α до горизонталі (рис. 3.7)

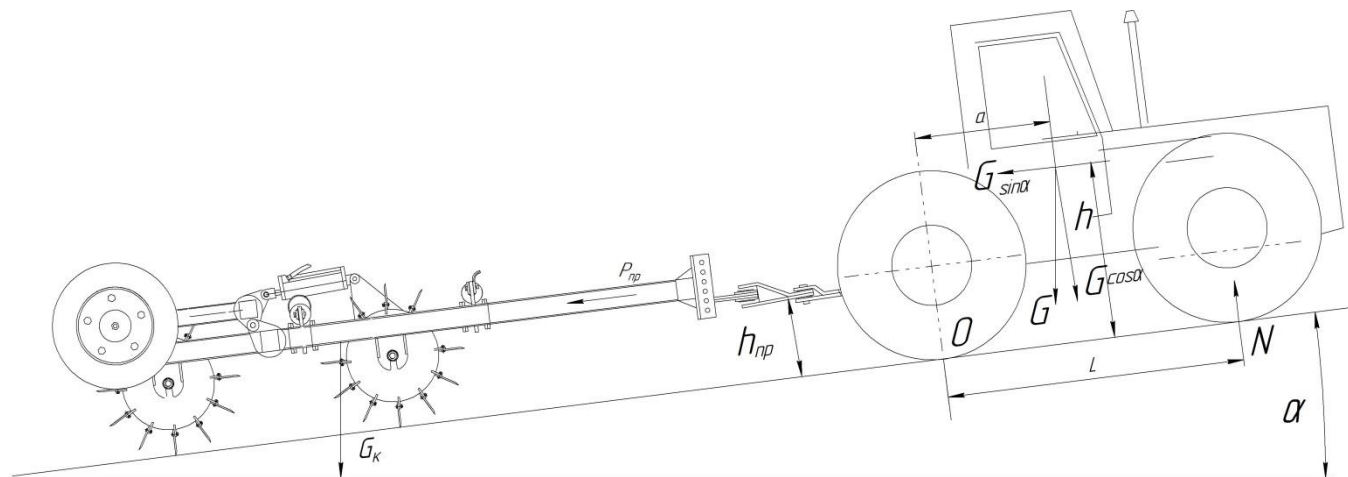


Рис.3.7. Схема сил, які діють на колісний трактор та причіпну машину, при рухові на підйом.

Небезпечним фактором, який може виникнути при рухові агрегату на підйом це перекидання трактора відносно точки О – точки контакту задніх коліс трактора з ґрунтом.. Рівняння моментів представлених сил відносно даної точки має вигляд

$$NL = G \cdot a \cdot \cos \alpha - G \cdot h \cdot \sin \alpha - P_{kp} \cdot h_{kp} \quad (3.27)$$

Де N – реакція ґрунту на керуємі колеса, Н;

L – поздовжня база трактора, м (2,86м);

G – маса трактора, Н (34300Н);

a, h – координати центра маси трактора, м (a=1,82, h=0,966м);

α - кут підйому відносно горизонту, град $\alpha = 4^0$;

P_{kp} - сила тяги на гакові, Н, (9600 н);

h_{kp} - висота кріплення шарніра сніці котка-подрібнювача до трактора, м (0,65м).

Стійкість колісного трактора втрачається при певному критичному кутові підйому схилу. Він визначається за формулою

$$\operatorname{tg} \alpha_{kp} = \left(G^2 a \cdot h - P_{kp} \cdot h_{kp} \sqrt{G^2 \cdot (h^2 + a^2) - P_{kp}^2 \cdot h_{kp}^2} \right) / (G^2 \cdot h^2 - P_{kp}^2 \cdot h_{kp}^2) \quad (3.28)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{\kappa p} = \left(76000^2 \cdot 1,82 \cdot 0,966 - 26500 \cdot 0,65 \sqrt{76000^2 \cdot (0,966^2 + 1,82^2) - 26500^2 \cdot 0,65^2} \right) / (76000^2 \cdot 0,966^2 - 26500^2 \cdot 0,65^2) = 0,2308$$

$$\alpha_{\kappa p} = 13^0$$

З урахуванням того, що максимальні схили, які можуть зустрічатися в умовах роботи агрегату не перевищують 6 град., то стійкість ходу агрегату в поздовжній площині є достатньою

ВИСНОВКИ

Проведена модернізація котка-подрібнювача рослинних решток, яка полягає у обладнанні ножових барабанів циліндричними обоймами, повинна:

- підвищити надійність виконання технологічного процесу;
- підвищити продуктивність сільськогосподарського агрегату в результаті збільшення значення коефіцієнту використання часу зміни;
- забезпечити підвищення інтенсивності подрібнення рослинних решток, що сприятиме кращому їх розкладанню у ґрунті та створенню більшої кількості поживних речовин доступних для живлення культурних рослин, а отже потенційно впливатиме на підвищення врожайності сільськогосподарських культур.

					КП 00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Список використаної літератури

1. <http://minagro.gov.ua/uk/>
2. <http://agrosell.com.ua/agro/talex-leopard/148>
3. <http://agrosem.kiev.ua/technique/28-soil/152-gaspardo-pulve>
4. <http://agro-temp.com.ua/mulchirovateli-gaspardo-gaspardo/>
5. http://www.krasylivmash.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=9%3Aposribnuvach-roslynnyh-rehtok-prn-45&catid=2%3Aprodukcija&Itemid=4&lang=uk
6. <http://a7d.com.ua/machines/10824-podrbnyuvach-roslinnih-reshtok-pr-45.html>
7. <http://savitskiy.com.ua>
8. Сисолін П.В., Сало В.М., В.М. Кропівний. Сільськогосподарські машини/ Теоретичні основи, конструкція, проектування. Книга 1: Машини для рільництва// За ред. М.І. Черновола. – К.: Урожай, 2001. – 382 с.
9. Сисолін П.В. Сільськогосподарські машини (практичні заняття): Навч. посібник / П.В. Сисолін, В.М. Сало, М.О. Свірень. – Кіровоград, 2002. – 130 с., іл.
10. Устюгов І.І. Деталі машин. К.: Вища школа, 1988. 400с.
11. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник / В.Т. Павлице. К.: Вища школа, 1993. 560 с
12. Опір матеріалів / Г.С. Писаренко. К.: Вища школа, 1993. 655

ДОДАТКИ

					КП 00.000.ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		