

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 культиватора КРНВ-5,6»

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

ОПП «Галузеве машинобудування»

спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

_____ Дарієв Олександр Миколайович

« ____ » _____ 2026 р.

Керівник проекту

професор., докт. техн. наук

_____ Василь САЛО

« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент

_____ доц. Іван СКРИННІК

Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет Агротехнічний
Кафедра Сільськогосподарського машинобудування
Рівень вищої освіти I-й , бакалавр
Галузь знань Механічна інженерія
Спеціальність 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**

Токарева Максима Володимировича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Удосконалення конструкції культиватора КРНВ-5,6
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 культиватора КРНВ-5,6

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 робочої секції та туковисівного апарату	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

_____ Дарієв О.М.
(прізвище та ініціали)

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	Кількість	Примітки
				<u>Документація загальна</u>		
				Заново розроблена		
A4			KPHB 00.000. ПЗ	Пояснювальна записка	40	
A1			KPHB 00.000 ВЗ	Культиватор для	1	
				міжрядного обробітку КРНВ-5,6		
				<u>Документація по складальних</u>		
				<u>одиницях</u>		
				Заново розроблена		
A0			KPHB 00.012 СК	Апарат туковисіваючий	1	
				АТП-2		
*			KPHB 01. 000 СК	Секція робочих органів	1	A2x3
*			KPHB 01.080 СК	Рамка	1	A4x3
A3			KPHB 00.012.001 СК	Шнек лівий	1	
				<u>Документація по деталях</u>		
				Заново розроблена		
A4			KPHB 00.613	Корпус	1	
A3			KPHB 00.012.001.605	Вал	1	
				KPHB 00.000 ВР		
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	Відомість роботи	
Розробив	Дарієв О.М.					
Перевірів	Сало В.М.					
Н. контр.	Артеменко Д.Ю					
Затвердив	Васильковський					
					Літера	Аркуш
					Аркуші	
					ЦНТУ	
					гр.ГМ -22-1	

Для покращення показників роботи просапного культиватора запропонований зміст удосконалення його конструкції, який полягає у модернізації секції робочих органів та туковисівного апарату. Так, запропоноване удосконалення будови кронштейна та шарнірного з'єднання секції робочих органів та обладнання туковисівного апарату шнеком з суцільними витками замість пружинного. Виконана розробка запропонованих конструкцій вказаних вузлів, відповідні креслення. Наведені необхідні технологічні, енергетичні, кінематичні розрахунки та розрахунки на міцність, які певною мірою підтверджують працездатність запропонованих змін.

Передбачається, що запропонована конструкція начіпного просапного культиватора має вищу надійність та якість виконання технологічного процесу і сприятиме зниженню собівартості сільськогосподарської продукції завдяки скороченню трудових затрат, підвищенню продуктивності праці та покращенню якості обробітку ґрунту.

Ключові слова: ґрунт культиватор, міжрядний обробіток, якість.

Abstract

The work presents information on the state of implementation of technological processes related to inter-row cultivation of row crops. Attention is paid to the importance of ensuring both the reliable operation of technical support and the quality of their implementation of the technological process in accordance with agrotechnical requirements.

Зміст

№ п/п	Назва розділу, підрозділу	Стор.
	Вступ	8
2	Стан питання щодо модернізації просапного культиватора	10
2.1.	Агротехнічні передумови використання просапних культиваторів	10
2.2.	Опис об'єкту розробки та агротехнічні вимоги до його роботи	12
2.2.1	Основні агротехнічні вимоги до виконання технологічного процесу.	13
2.2.2.	Аналіз конструкції просапного культиватора КРНВ-5,6	15
3.	Конструкторська частина	19
3.1	Технологічні розрахунки	19
3.1.1	Розрахунок шнекових туковисівних апаратів	19
3.2.	Силові розрахунки	22
3.2.1.	Забезпечення стійкості ходу пружинних роторів	22
3.2.2	Розрахунок пружини	23
3.3.	Кінематичний розрахунок	27
3.3.1.	Перевірка агрегату на поздовжню стійкість	27
3.4.	Розрахунки на міцність	29
3.4.1.	Розрахунок підшипників пружинних роторів	29
3.4.2.	Розрахунок на міцність гряділя	32
	Висновки	37
	Література	38
	Додатки	39

Вступ

Просапні культури в Україні відіграють важливу роль у забезпеченні виробництва необхідних продуктів харчування. Ґрунтово-кліматичні умови степової зони є загалом сприятливими для вирощування більшості сільськогосподарських культур, у зв'язку з чим цей регіон традиційно належить до провідних за площами посівів, рівнем виробництва та переробки рослинницької продукції на харчову сировину. У 2000-х роках площі, зайняті просапними культурами в Україні, становили близько 12 млн га. Однак воєнні дії, що суттєво вплинули на економіку країни загалом і агропромисловий комплекс зокрема, внесли значні зміни в розвиток зазначених галузей. Зменшення посівних площ, обмежене матеріально-технічне забезпечення, недосконалість взаємодії між виробниками сировини та переробними підприємствами, порушення технологічних процесів вирощування культур, а також зміни кліматичних умов нерідко призводять до зниження економічної ефективності виробництва.

З метою стабілізації ситуації та подальшого зростання обсягів виробництва сировини для харчової промисловості науковцями розробляються сучасні підходи до технологій вирощування та переробки сільськогосподарських культур [1,2,3,4,5]. Важливою складовою вітчизняних технологій вирощування просапних культур є застосування гербіцидів, які істотно впливають на підвищення продуктивності. Водночас дедалі більшої актуальності набуває розвиток екологічно орієнтованого землеробства та виробництво безпечної для споживача продукції.

					КРНВ 00.000.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Дарієв О.М.			ВСТУП	Літера	Аркуш	Аркушів
Перев.		Сало В.М.					8	
Н.контр.		Артеменко Д.						
Затвер.		Васильковський				ЦНТУ, гр. ГМ -22-		

Водночас ключовими передумовами отримання стабільно високих урожаїв залишаються впровадження науково обґрунтованих систем землеробства в різних ґрунтово-кліматичних зонах, належне забезпечення господарств сучасною технікою, добривами, якісним насіннєвим матеріалом і високоефективними засобами захисту рослин від хвороб, бур'янів та шкідників, що забезпечує своєчасне й якісне виконання всіх технологічних операцій [5].

Упродовж останніх років, особливо в економічно розвинених країнах, дедалі більшої актуальності набуває проблема забезпечення виробництва екологічно безпечної продукції з мінімальним або повністю відсутнім використанням хімічних засобів. Одним із можливих шляхів розв'язання цього завдання та підвищення ефективності виробничих процесів є вдосконалення надійності, універсальності й технологічності технічних засобів, що застосовуються у сільськогосподарському виробництві.

У даній бакалаврській кваліфікаційній роботі здійснено спробу модернізації начіпного культиватора-рослинопідживлювача КРНВ-5,4 [6]. Запропоновані зміни передбачають підвищення технологічності виготовлення та експлуатації посівної секції, а також заміну пружинного шнека туковисівного апарата на шнек із суцільними витками. Очікується, що реалізація запропонованих удосконалень сприятиме зростанню надійності роботи культиватора, спрощенню його технічного обслуговування та покращенню якості виконання технологічного процесу.

Обґрунтування доцільності конструкційних, технологічних і організаційних рішень, які необхідно реалізувати, а також оцінку загальної ефективності впровадження запропонованих заходів наведено в цій бакалаврській кваліфікаційній роботі.

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

2. Стан питання щодо модернізації просапного культиватора

2.1 Агротехнічні передумови використання просапних культиваторів

З урахуванням виду й призначення обробітку ґрунту, а також природно-кліматичних умов, типу ґрунтів і їх фізико-механічних характеристик застосовують різноманітні способи та ґрунтообробні машини, які забезпечують надання ґрунту оптимальних властивостей для досягнення визначених агротехнічних цілей [2.3.4].

Основними завданнями обробітку ґрунту є формування сприятливої структури орного шару для створення оптимальних водного, повітряного й теплового режимів; активізація кругообігу поживних речовин за рахунок впливу на мікробіологічні процеси; знищення бур'янів шляхом стимулювання проростання їх насіння, ліквідації сходів, підрізання кореневої системи та кореневих паростків, а також виносу кореневищ на поверхню ґрунту; рівномірне перемішування й загортання рослинних решток і добрив в орному шарі; зменшення ризику водної та вітрової ерозії тощо.

Нині для реалізації частини зазначених завдань широко використовують гербіциди, проте науковими дослідженнями та виробничою практикою встановлено, що їх застосування, поряд зі зростанням урожайності, спричиняє підвищення собівартості продукції, негативний вплив на довкілля, корми та харчові продукти, а також погіршення умов праці механізаторів. У зв'язку з цим дедалі більшої актуальності набуває впровадження альтернативних агротехнічних прийомів і засобів механізації для контролю бур'янів у посівах без використання хімічних препаратів.

Комплекс післяпосівних агротехнічних заходів включає боротьбу з бур'янами, боронування, коткування, міжрядні обробітки посівів просапних культур, підгортання рослин у рядках із присипанням сходів бур'янів та інші

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

операції. Боронування виконують до появи сходів культурних рослин або після них, дотримуючись обережності та обираючи періоди, коли бур'яни є найбільш чутливими до механічного впливу, а проростки культурних рослин ще розміщені на безпечній глибині або вже набули достатньої міцності. Найбільш уразливими до боронування є проростки бур'янів завдовжки понад 1 см у фазі так званої «білої ниточки», але не пізніше стадії утворення сім'ядольних листків у двосім'ядольних або першого справжнього листка в односім'ядольних видів. Із появою двох–трьох пар листків та розвитком вторинної кореневої системи стійкість бур'янів до механічного впливу суттєво зростає. Боронування застосовують як на посівах вузькорядних культур, так і на просапних. За умови правильного добору машин і оптимальних строків проведення технічна ефективність цього агрозаходу може досягати 70–95 % знищення сходів бур'янів [5].

Боронування посівів зернових колосових культур здійснюють у фазі від трьох–чотирьох листків до початку кущення, гороху — у фазі трьох–п'яти листків до утворення вусів, кукурудзи — за наявності двох–п'яти листків, соняшнику — в стадії одного–трьох листків, а цукрових буряків — у фазі першої пари справжніх листків. Обробіток проводять упоперек або під кутом до напрямку рядків зі швидкістю руху агрегату 3–5 км/год, бажано в другій половині дня, коли тургор тканин рослин зменшується. Тип борін підбирають залежно від ґрунтових умов: на важких ґрунтах застосовують середні або важкі борони, на легких — посівні.

Міжрядний обробіток ґрунту виконують на посівах просапних культур (соняшник, кукурудза, картопля, буряки, овочеві культури), а також зернових, висіяних широкорядним способом (просо, гречка). Під час міжрядних культивувань досягається подвійний ефект: знищення сходів бур'янів у міжряддях і стимулювання проростання їх насіння. При цьому важливо дотримуватися однакової глибини обробітку або поступово зменшувати її від першої культивування до останньої, що дає змогу уникнути винесення у верхні шари ґрунту насіння бур'янів із глибших горизонтів.

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

Сучасні міжрядні культиватори вітчизняного й закордонного виробництва оснащують спеціальними робочими органами для підвищення ефективності боротьби з бур'янами, зокрема підгортачами, ротаційними батареями РБ–5,4, металевими прутковими роторами, плоскорізними лапами типу «бритва», а також борінками КРН–4,8. Застосування цих елементів забезпечує знищення бур'янів не лише в міжряддях, а й у захисній зоні рядків культурних рослин без їх пошкодження.

З метою зменшення ширини захисної смуги рядків просапні культури висівають із одночасним формуванням двох спрямовуючих щілин-орієнтирів у межах ширини захвату сівалки на глибину 22–25 см за допомогою встановлених на її рамі щілинорізів. На культиваторах для міжрядного обробітку таких посівів монтують лапи-копіри, які входять у створені під час сівби щілини та забезпечують точне копіювання проходу культиватора відповідно до рядків. Використання цієї технології дає змогу скоротити ширину захисної смуги до 5–6 см і підвищити технічну ефективність міжрядних обробітків.

Упровадження зазначених прогресивних технологічних рішень дозволяє довести ефективність міжрядного обробітку ґрунту просапних культур до 85–90 % та забезпечити їх вирощування без застосування гербіцидів або з мінімальним їх використанням.

2.2. Опис об'єкту розробки та агротехнічні вимоги до його роботи

Культиватор КРНВ-5,6 є універсальним ґрунтообробним агрегатом, призначеним для виконання міжрядного обробітку посівів, а за умови відповідного укомплектування робочими органами — також для суцільного поверхневого обробітку ґрунту [6]. За способом агрегування даний культиватор належить до начіпних сільськогосподарських знарядь.

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

Міжрядний і передпосівний обробіток ґрунту, що виконується культиватором, має формувати дрібногрудкуватий верхній шар, необхідний для нормального перебігу процесів інфільтрації та аерації, а також ущільнений нижній шар із збереженою капілярною системою, яка забезпечує надходження вологи до насіння та кореневої системи рослин. Окрім цього, всі види передпосівного й міжрядного обробітку із застосуванням культиватора КРНВ-5,6 передбачають одночасне знищення бур'янів.

2.2.1. Основні агротехнічні вимоги до виконання технологічного процесу.

Важливу роль у створенні оптимальних умов для росту й розвитку культурних рослин упродовж вегетаційного періоду відіграє своєчасний і якісний догляд за посівами. Він включає розпушування ґрунту, руйнування поверхневої ґрунтової кірки, боротьбу з бур'янами, підживлення рослин, проріджування або букетування в рядках, підгортання та виконання інших агротехнічних операцій.

Кінцевий результат виконання основних технологічних операцій обробітку ґрунту, до яких належать кришіння, розпушування, ущільнення, перемішування, обертання, вирівнювання, формування мікрорельєфу та загортання рослинних решток, визначається встановленими агротехнічними вимогами.

Агротехнічні вимоги регламентують значення якісних показників як кінцевого результату основного або поверхневого (передпосівного) обробітку ґрунту, так і рівень ефективності виконання технологічного процесу окремими ґрунтообробними знаряддями. Науково обґрунтовані вимоги до показників якості технологічних процесів різних типів ґрунтообробних машин є базою для оцінювання їх експлуатаційної ефективності [7].

Відповідно до свого призначення та агротехнічних вимог культиватор КРНВ-5,6 повинен забезпечувати виконання таких технологічних операцій:

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

- повне підрізання бур'янів без винесення їх на поверхню та без перемішування вологих нижніх шарів ґрунту з верхніми;

- рівномірний обробіток ґрунту на глибину від 5 до 16 см за умови, що середнє відхилення фактичної глибини від заданої не перевищує ± 1 см; і 10–15 % при шаровому обробітку

- процес розпушування повинен відбуватися без утворення брил, надмірного розпилення та без винесення на поверхню вологих нижніх шарів ґрунту, а також без значного ущільнення підорного горизонту з формуванням вирівняного підлапового горизонту ґрунту із середньою гребенистістю не більше 2 см;

- за суцільного обробітку поверхня ґрунту після проходу культиватора має бути рівною, без утворення гребенів і борозен;

- перекриття суміжних лап на ширину не менше 5 см;

- якісне розпушування та вирівнювання поверхні обробленого шару ґрунту;

- оснащення робочими органами, які забезпечують повне підрізання бур'янів у міжряддях, не пошкоджують і не присипають ґрунтом молоді рослини в межах установлених захисних зон, не утворюють борозен і підтримують задану глибину розпушування в діапазоні 5–14 см;

- ефективність знищення бур'янів повинна становити не менше 98 %;

- точне копіювання рельєфу поверхні поля та стабільність ходу робочих органів;

- дотримання захисної зони рядків культурних рослин у межах 8–10 см.

Культиватор застосовується в усіх ґрунтово-кліматичних зонах і регіонах, де вирощують високостебельні сільськогосподарські культури або інші культури зі схожими біологічними особливостями.

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

2.2.2. Аналіз конструкції просапного культиватора КРНВ-5,6

Культиватор складається з рами 1, начіпного пристрою 2 та робочих секцій 5, оснащених змінними робочими органами 9. Рама є зварною конструкцією, виконаною з поперечного бруса перерізом $140 \times 140 \times 7$ мм, до якого приварено замок авто зчіпки 2. (рис.2.1) [6].

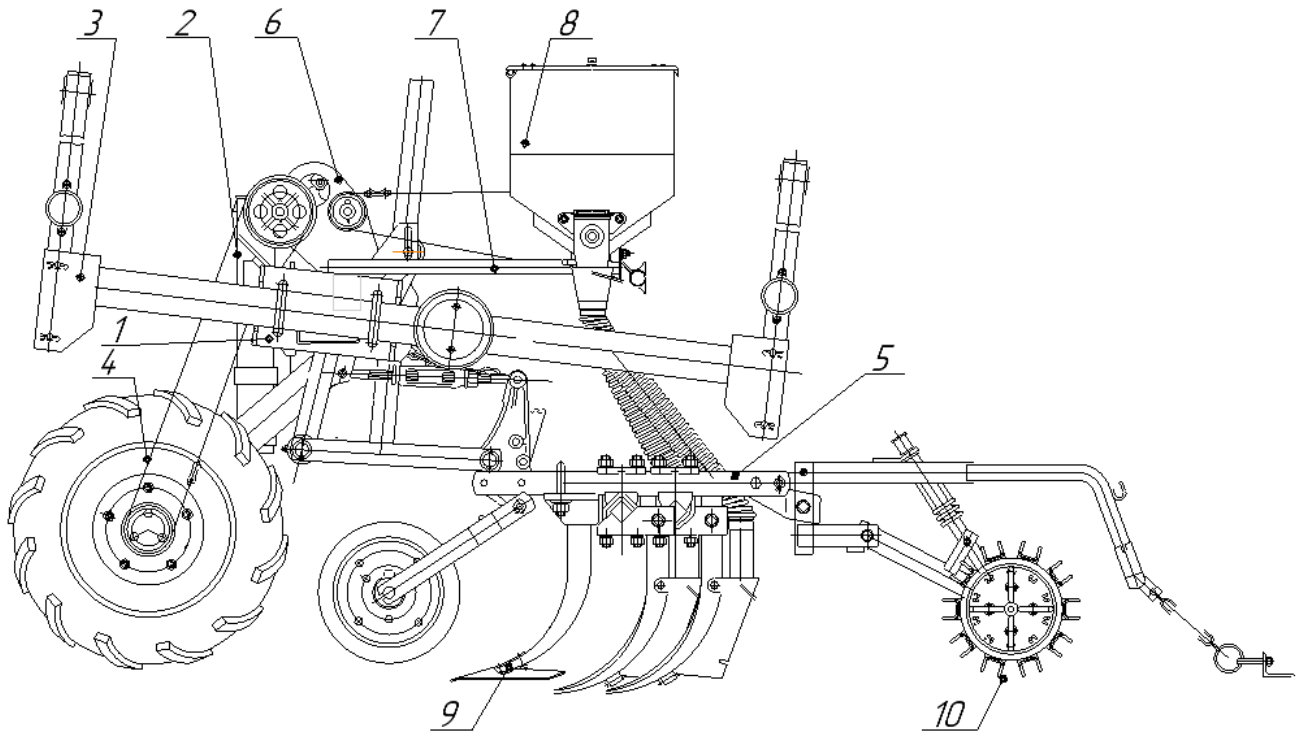


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд просапного культиватора КРНВ-5,6: 1 – рама; 2 – автоматичний зчіпний пристрій; 3 – транспортний пристрій; 4 – опорно-приводні колеса; 5 – Секції робочих органів; 6 – коробки зміни передач механізму приводу; 7 – кронштейн кріплення туковисівних апаратів; 8 – туковисівні апарати; 9 – змінні робочі органи; 10 – пружинні ротори

Для забезпечення зручності транспортування по дорогах загального користування культиватор обладнано транспортним пристроєм 3, що дає змогу зменшити його транспортну ширину до 2,5 м. Транспортний пристрій складається з двох опор, з'єднаних із поперечним брусом за допомогою штирів.

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

На опорах встановлюються світловідбивачі, призначені для позначення габаритів агрегату під час пересування в темну пору доби.

Опорно-приводні колеса культиватора мають діаметр 510 мм і оснащені пневматичними шинами з робочим тиском повітря 0,3 МПа. Під час переведення агрегату в транспортне положення ці колеса виконують функцію транспортних.

Сниця виготовлена у вигляді бруса з шарнірно закріпленим укороченим замком, який слугує для приєднання культиватора до автозчипки трактора та його транспортування. У робочому положенні агрегату сницю встановлюють у брус рами, що дозволяє зменшити загальні габарити машини.

Для утримання культиватора в горизонтальному положенні під час технічного обслуговування та зберігання передбачена підставка. Вона кріпиться до рами машини за допомогою кронштейнів і скоб та оснащена штирями, які забезпечують її фіксацію в різних положеннях.

Секція робочих органів монтується на рамі за допомогою передніх кронштейнів і скоби та включає підвіску з копіювальним колесом і гряділь. На гряділі через тримачі призм із накладками квадратних стержнів закріплюються робочі органи.

Підвіска виконана у вигляді паралелограмного чотириланкового механізму, що складається з переднього і заднього кронштейнів, верхньої та нижньої ланок. На підвісці встановлено копіювальне колесо з механізмом групового регулювання робочих органів на задану глибину обробітку ґрунту.

Гряділь приєднується до заднього кронштейна підвіски за допомогою двох болтів, а для регулювання його положення на фланці передбачено упорний гвинт. За потреби культиватор може доукомплектовуватися додатковими робочими органами у вигляді пружинних роторів-розпушувачів 10.

Пружинний ротор складається з кронштейна, повідка з віссю, двох сепараторних котків із пружинними прутками, притискного довантажувального механізму, а також двох обмежувачів — лівого та правого. Вісь ротора встановлена на шарикопідшипниках. Регулювання тиску ротора на ґрунт здійснюється шляхом зміни його положення в тримачі гряділя або попереднім

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

натягуванням пружини. До трубчастих кронштейнів двох суміжних роторів за допомогою повідків приєднується секційний шлейф.

Шлейф конструктивно складається з кутника, двох повідків і з'єднувальної планки. Зміна інтенсивності впливу шлейфа на ґрунт досягається перестановкою планки з квадратним елементом на повідкові у фігурному пазу планки, привареної до трубчастого кронштейна ротора. Під час виконання робіт можливе застосування лап із пружними елементами, які включають дві спарені плоскорізальні лапи та долотоподібну лапу, з'єднані між собою двома пружними ланцюгами.

За глибини розпушування 6–8 см лапи з пружними пластинами доцільно замінювати на стандартні стрілчасті лапи. Залежно від фізичного стану ґрунту культиватор може комплектуватися як пружинними роторами, так і зубовими боронами. Однак використання борін у складі ґрунтообробного агрегату суттєво збільшує його тяговий опір.

З цієї точки зору більш ефективним є застосування пружинних роторів. Водночас конусна форма таких роторів за підвищених робочих швидкостей призводить до збільшення гребенистості обробленої поверхні ґрунту, а зі зростанням притискного зусилля зменшується стабільність ходу робочих органів секції на заданій глибині.

До рами культиватора кріпляться чотири туковисівні апарати марки АТП-2, які забезпечують подачу мінеральних добрив в прикореневу систему рослин одночасно з міжрядним обробітком. До основного недоліку даних робочих органів можна віднести низьку рівномірність розподілу туків по довжині рядка.

Як варіант вирішення даної задачі може бути обладнання туковисівних апаратів шнеками з суцільною спіральною навивкою. Основні технічні характеристики культиватора наведені в табл.2.1

Таблиця 2.1.

Технічні характеристики просапного культиватора КРНВ-5,6

Модель	КРНВ-5,6
Продуктивність га/год	5,6

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

Продовження таблиці 2.1.

Ширина захвату, м	5,6
Кількість рядків що обробляються, шт	8
Ширина міжрядь, см	70
Норма висіву туків, кг/га	50-250
Ємкість бункерів сумарна, дм ³	384
Робоча швидкість, км/год	5-10
Глибина обробітку, см	6-16
Габаритні розміри, мм	4875x2100x1700
Маса, кг	880±25

					КРНВ 00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

3. Конструкторська частина

3.1 Технологічні розрахунки

3.1.1. Розрахунок шнекових туковисівних апаратів

У конструкції просапних сівалок і культиваторів-рослинопідживлювачів доволі поширеним є використання шнекових висівних апаратів (рис. 3.1). Їх робота ґрунтується на переміщенні мінеральних добрив до висівного вікна за допомогою гвинтових витків шнека. Під час обертання шнека витки захоплюють шар добрив, розміщений на дні бункера, зсувають його у напрямку краю та спрямовують у лійку для подальшого подавання.

До основних технологічних параметрів шнекового туковисівного апарата належать: зовнішній діаметр шнека $d_{ш}$, крок витків S діаметр дозуючого отвору d_0 , довжина відкритої частини шнека l , а також довжина його транспортуючої ділянки l_0 (рис. 3.1).

Значення діаметра витків шнека визначають відповідно до залежності [8.9]:

$$d_{ш} > d + 4d_z, \quad (3.1)$$

де d — діаметр вала шнека, який обирають із конструкційних міркувань (у даному випадку $d=20\text{мм}$)

d_z — максимальний розмір гранули добрив, що становить 6 мм.

Підставляючи числові значення, отримаємо:

$$d_{ш} > 20 + 4 \cdot 6 = 46\text{мм}$$

З урахуванням стандартних розмірів приймаємо діаметр шнека рівним 50 мм.

Мінімальне значення кроку витків шнека визначають з відповідної нерівності ...

$$S > d_b + 2 d_g. \quad (3.2)$$

					КРНВ 00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

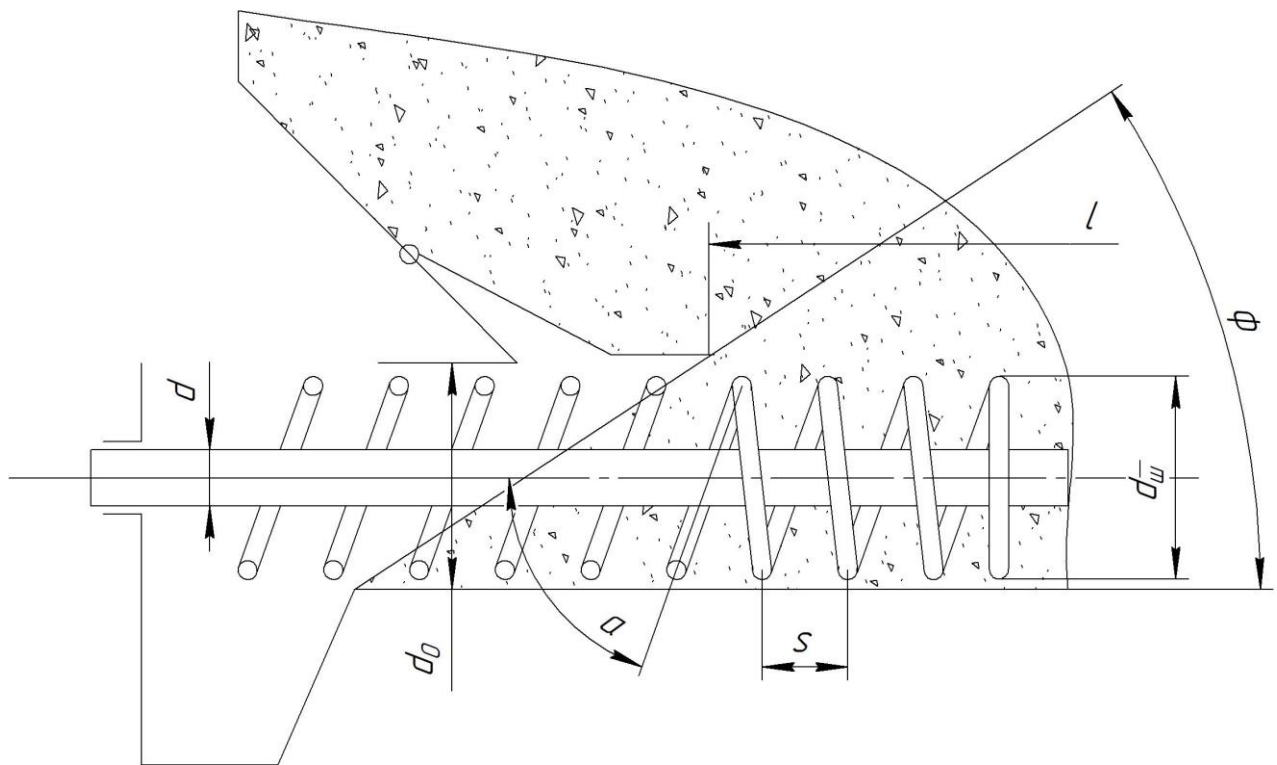


Рис. 3.1. Схема основних параметрів шнекового туковисівного апарата

де $d_{\text{ш}}$ – товщина витків шнека.

$$S > 3 + 2 \cdot 6 = 15 \text{ мм.}$$

З конструкційних міркувань вибираємо $S = 32 \text{ мм.}$

Головною умовою для забезпечення стійкого осьового зміщення гранул добрив витками шнека відносно дна бункера є

$$\alpha > \varphi,$$

в свою чергу

$$\alpha = 90^\circ - \arctg(S/\pi d_{\text{ш}}), \quad (3.3)$$

де α - кут нахилу витка шнека до вісі шнека;

φ – кут тертя добрив до поверхні шнека.

$$\alpha = 90^\circ - \arctg(32/3,14 \cdot 50) = 76,9^\circ,$$

Довжину транспортуючої ділянки шнека визначають згідно формули [8,10].

$$l_0 = S n_1 > d_0 / \tg \psi, \quad (3.4)$$

де n_1 – загальна необхідна кількість витків шнека, яка забезпечує транспортування гранул добрив від дозуючого отвору до лійки;

ψ – кут запобігання самовільному висипанню добрив

$$(\psi = \xi - \alpha_c);$$

ξ – кут природного відкосу гранул добрив $= 35^\circ$;

α_c – максимально можливий боковий нахил культиватора, 8° .

$$l_0 = S n_1 > 58 / \operatorname{tg} 27^\circ = 116 \text{ мм}$$

За аналогією з серійними машинами та з урахуванням запасу у подачі добрив приймаємо $l_0 = 180 \text{ мм}$, тоді необхідна кількість витків шнека становитиме

$$n_1 = l_0 / S = 180 / 32 = 5,6$$

приймаємо $n_1 = 6$

Величину l визначають з умов вільного висипання необхідної кількості добрив із бункера в приймальну зону шнека. З урахуванням перевірених в експлуатаційних умовах величин приймаємо $l = 72 \text{ мм}$.

Кількість добрив, яку здатен висіяти шнек за один оберт становитиме [8-10].

$$q_0 = 10^{-8} 25 \pi S \gamma_d \mu (d_0^2 - d^2), \quad (3.5)$$

де γ_d – питома маса добрив, г/см^3 ;

μ – коефіцієнт, що характеризує відставання швидкості подачі добрив до лійки від осьової швидкості витків шнека ($\mu = 0,90 \dots 0,95$).

тоді

$$q_0 = 10^{-8} 25 3,14 32 1,1 0,9 (58^2 - 20^2) = 7,3 \text{ г/см}^3$$

					КРНВ 00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

3.2. Силові розрахунки

3.2.1. Забезпечення стійкості ходу пружинних роторів

Стійкість руху пружинних роторів є важливим чинником, що визначає ефективність та якість процесу розпушування ґрунту. Даний показник значною мірою зумовлюється конструкцією вузла кріплення роторів, а також напрямком і характером сил, які діють на них під час роботи.

Пружинні ротори жорстко з'єднані з повідком, який має можливість вільного повороту відносно нерухомої горизонтальної осі, розташованої перпендикулярно до напрямку руху культиватора. У процесі взаємодії з ґрунтом на пружинні ротори діє комплекс сил [8,11], до якого належать:

- вага роторів разом із повідком G ;
- сила G_1 , що створюється дією пружного елемента;
- тягова сила P , прикладена у зоні шарнірного з'єднання повідка.

Графічне зображення прикладених сил до пружинного ротора наведено на рисунку 3.2.

Симетрична геометрія пружинного ротора зумовлює те, що всі зазначені сили діють у межах однієї вертикальної площини.

Спроектувавши їх на вісь X отримуємо:

$$Gl + G_1l_1 - P \sin\beta = 0 \quad (3.6)$$

З виразу (3.6) зусилля пружини, яке забезпечить якісну підготовку ґрунту пружинними роторами становить

$$G_1 = \frac{P \sin\beta - Gl}{l_1}$$

Скориставшись кресленням пружинного ротора знаходимо потрібні для розрахунків відстані і отримуємо:

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

$$G_1 = \frac{44,8 \cdot \sin \beta - 252 \cdot 280}{208} = 311,85 \text{ Н}$$

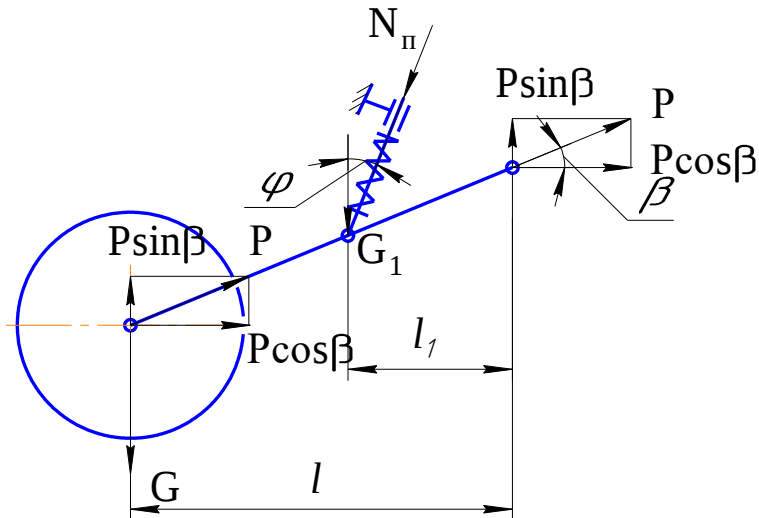


Рис. 3.2. Схема сил, що діють на пружинний ротор

Так як пружина розташована під кутом, то її робоче навантаження буде складати

$$N_{\text{п}} = G_1 / \cos \beta = 311,85 / \cos 33^\circ = 455 \text{ Н}$$

3.2.2. Розрахунок пружини

З попередніх розрахунків сила, діюча на пружину, складає 455 Н

Визначимо характеристику пружини при збільшенні її стиснення при зростанні сили від F_1 до F_2 на 3 мм [11,12] (рис.3.3).

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

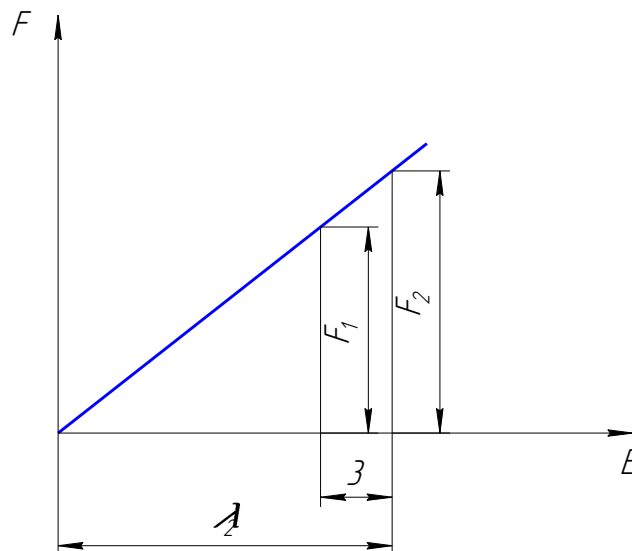


Рис. 3.3. Схема навантаження пружини

Показник λ з подібності трикутників

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_2 - 3} = \frac{F_2}{F_1} \quad (3.7)$$

Силу F_2 можна визначити зі співвідношення $F_2 = 1,2 F_1 = 546 \text{ Н}$

Тоді

$$\lambda_2 = \frac{3F_2}{F_2 - F_1} = \frac{3 \cdot 546}{546 - 445} = 16,2 \text{ Н}$$

Враховуючи те, що при експлуатації пружини посадка витка на виток не допустима, то граничне навантаження на пружину не повинне перевищувати значення F_2 , при зазорі між витками $s = 0,1d$

Вибираємо для виготовлення пружини сталевий вуглецевий дріт і визначаємо $[\tau] = 0,4\sigma = 0,4 \cdot 1400 = 560 \text{ МПа}$ [11,12]:

де $[\tau]$ – допустиме розрахункове напруження в поперечному перетині витка.

Розраховуємо коефіцієнт k , що враховує вплив кривизни витків і поперечної сили за виразом

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

$$\kappa = \frac{4c + 2}{4c - 3} \quad (3.8)$$

де c – індекс пружини, визначається як співвідношення середнього діаметру пружини до діаметру дроту.

Задаємося значенням індексу пружини $c = 6$, тоді

$$\kappa = \frac{4c + 2}{4c - 3} = 1,24$$

Розраховуємо необхідний діаметр дроту

$$d \geq \sqrt{\frac{\hat{e} \cdot 8F_2 c}{\pi \cdot \tau}} = \sqrt{\frac{1.24 \cdot 8 \cdot 546 \cdot 6}{3.14 \cdot 560}} = 4,29 \text{ мм}$$

З урахуванням сортаменту дроту приймаємо $d = 4,5$ мм; $D = d \cdot c = 27$ мм, приймаємо значення 65 мм

Визначаємо число робочих витків пружини

$$Z = \frac{Gd^2 \lambda}{8F_2 D^2} \quad (3.9)$$

де G – модуль зрушення, для сталі в середньому становить

$$G = 8 \cdot 10^4 \text{ МПа}$$

Тоді
$$Z = \frac{8 \cdot 10^4 \cdot 4,5^2 \cdot 16,2}{8 \cdot 546 \cdot 65^2} = 24$$

загальне число витків становить $Z_1 = Z + 2 = 26$,

а крок пружини

$$t = d + \frac{\lambda}{Z} + s = 4,5 + \frac{16,2}{24} + 0,45 = 6,88 \text{ мм}$$

Розраховуємо висоту пружини при повному стисканні витків

$$H_3 = (z - 0,5)d = (24 - 0,5)4,5 = 105,75$$

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

Визначаємо загальну довжину вільної пружини

$$H_0 = H_3 + z(t-d) = 105,75 + 24(6,88-4,5) = 162,87$$

Встановлюємо співвідношення

$$H_0/D = <2,6 = 162,87 / 27 = 2,55$$

Креслення пружини за отриманими результатами наведено на рисунку 3.4.

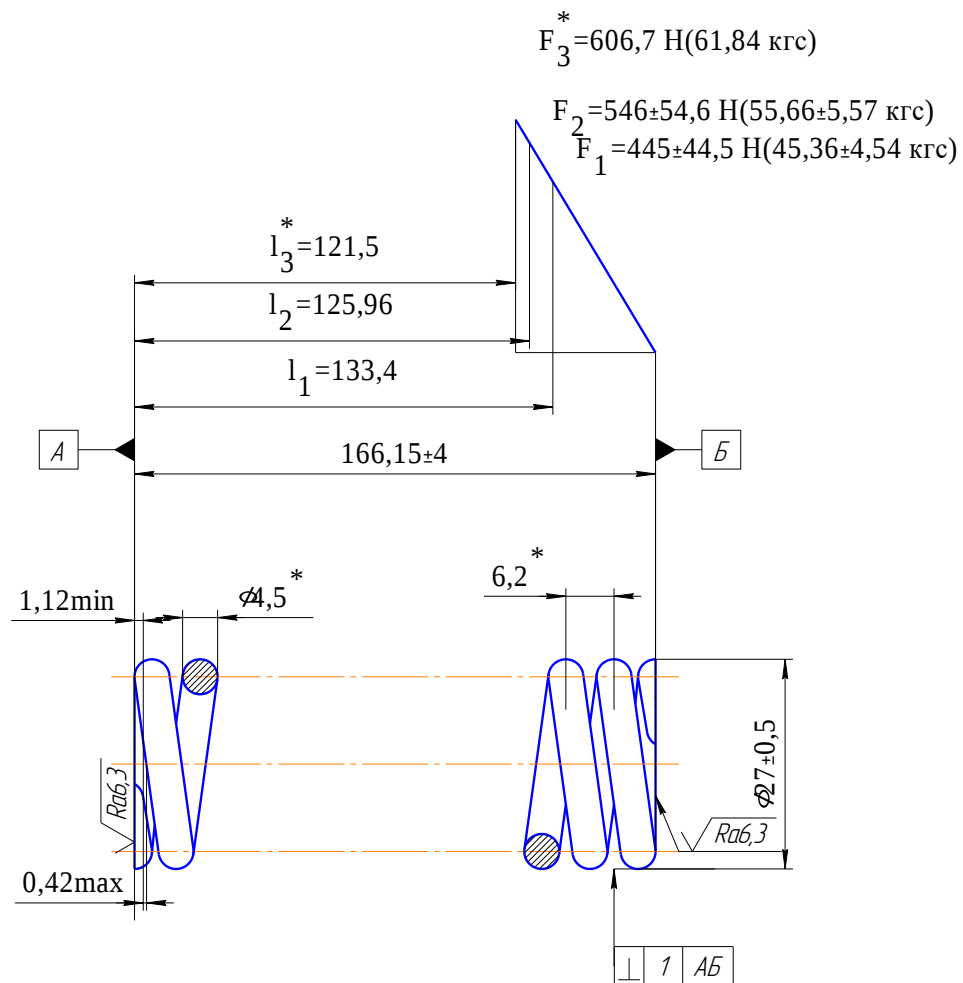


Рис. 3.4. Характеристики розрахованої пружини

3.3. Кінематичний розрахунок

3.3.1. Перевірка агрегату на поздовжню стійкість

При складанні сільськогосподарського агрегату з навісною ґрунтообробною машиною для його безпечної експлуатації необхідно проводити перевірку на поздовжню стійкість.

Для колісних енергетичних засобів (рис. 3.5.) [8] критерієм поздовжньої стійкості є коефіцієнт використання запасу поздовжньої стійкості χ_n .

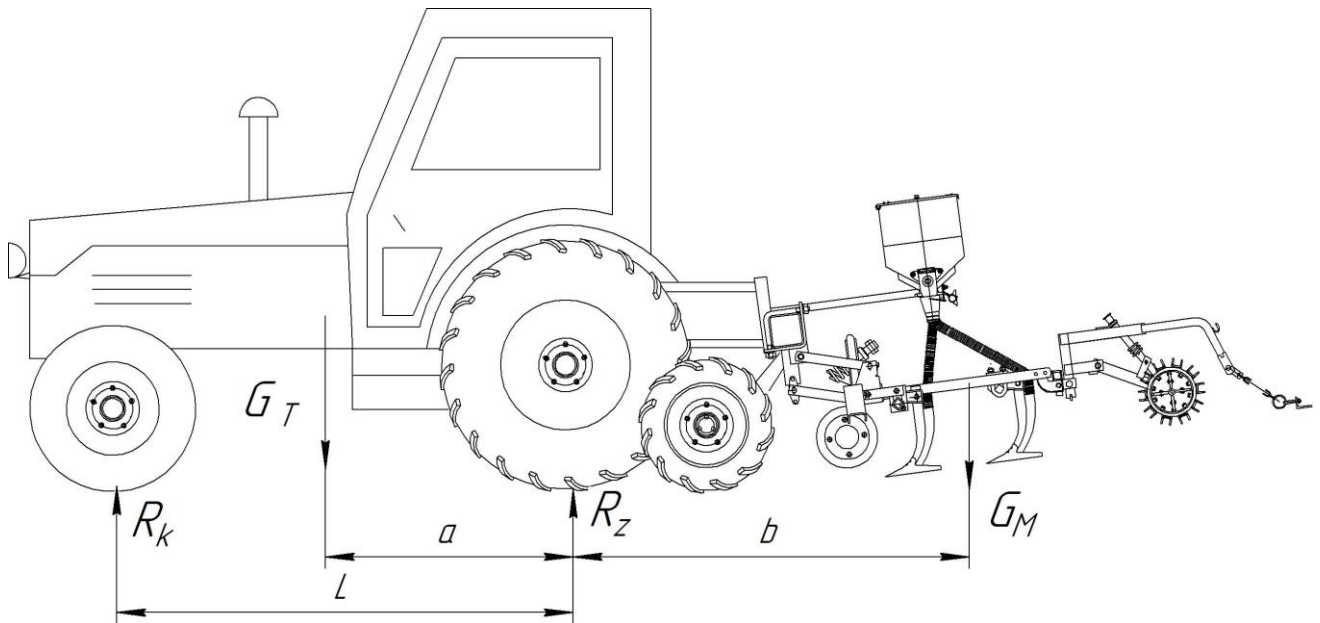


Рис. 3.5. Схема для розрахунку навісного агрегату з колісним трактором.

$$\chi_n = \frac{M_m}{M_{\lim}}, \quad (3.10)$$

$$\text{де } M_m = G_m \cdot v \quad (3.11)$$

$$M_{\lim} = G_m \cdot a, \quad (3.12)$$

тоді

					КРНВ 00.000.ПЗ		Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			27

$$\chi_n = \frac{G_m \cdot b}{G_t \cdot a} \quad (3.13)$$

де G_t – експлуатаційна маса трактора;

a – відстань від центра ваги трактора до вісі ведучих коліс, 0,965м;

G_m – експлуатаційна маса культиватора;

b – відстань від центра ваги піднятого в транспортне положення культиватора відносно вісі ведучих коліс трактора. 0.821 м.

$$\chi_n = \frac{1335 \cdot 0,821}{3160 \cdot 0,965} = 0,36$$

Поздовжня стійкість ґрунтообробного агрегату забезпечена, так як $\chi_n \leq 0,4$
 $0,36 \leq 0,4$.

Перевіримо навантаження на передні та задні колеса трактора в статичному положенні.

$$R_1 = \frac{G_m \cdot a - G_t \cdot b}{L} = \frac{3160 \cdot 0,965 - 1335 \cdot 0,821}{2,37} = 824 \text{ кг} \quad (3.14)$$

$$R_2 = G_m + G_t - R_1 = 3160 + 1335 - 824 = 3671 \text{ кг} \quad (3.15)$$

В динаміці агрегату

$$R_1 = \frac{G_m \cdot a - G_t \cdot b - G_{\text{т.обц}} \cdot \eta_k \cdot f}{L} =$$

$$= \frac{3160 \cdot 0,965 - 1335 \cdot 0,821 - 4495 \cdot 0,73 \cdot 0,1}{2,37} = 685,8 \text{ кг} \quad (3.16)$$

$$R_z = 3160 + 1335 - 685,8 = 3836,2 \text{ кг}$$

Стійкість енергетичного засобу в поздовжній площині забезпечена.

					КРНВ 00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

3.4. Розрахунки на міцність

3.4.1. Розрахунок підшипників пружинних роторів

Силовий розрахунок вала пружинного ротора виконуємо з урахуванням максимально можливого зусилля, яке здатен витримати пружинний ротор.

За попередніми розрахунками дане навантаження становить 22,4 Н.

Для побудови епюр моментів згинання знаходимо реакції опор в точках А і В (рис.3.6):

$$\sum M_A = 0; \quad P \cdot l_1 - R_B \cdot l = 0;$$

звідки:

$$R_B = \frac{P \cdot l_1}{l} = \frac{22,4 \cdot 78}{156} = 11,2 \text{ Н}$$

$$\sum M_B = 0; \quad P \cdot l_1 - R_A \cdot l = 0;$$

отже

$$R_A = \frac{P \cdot l_1}{l} = \frac{22,4 \cdot 78}{156} = 11,2 \text{ Н}$$

Перевіримо правильність розрахунків:

$$P - R_A - R_B = 0;$$

$$22,4 - 11,2 - 11,2 = 0$$

Таким чином, розрахунки виконано правильно.

Будуємо епюру згинального моменту (рис. 3,6)

					КРНВ 00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

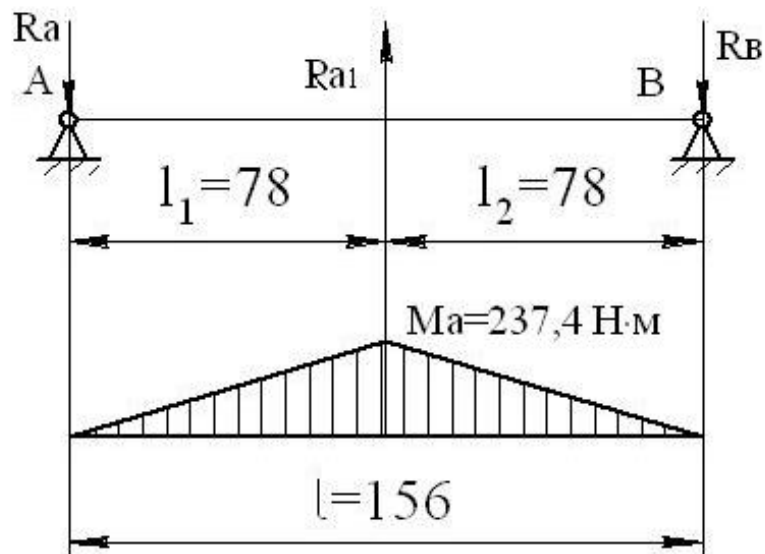


Рис. 3.6. Схема навантаження вала пружинного ротора

$$M_{зг} = P \cdot l_1 = 22,4 \cdot 0,078 = 17,4 \text{ Нм}$$

Визначимо мінімальний діаметр вала в небезпечному перетині [11,12]:

$$d = 3 \sqrt[3]{\frac{M_3}{0,1 \cdot [\sigma]_3}}, \quad (3.17)$$

Матеріал для вала приймаємо Сталь 35, для якої
 $[\sigma]_3 = 100 \text{ кг/мм}^2$.

$$d = 3 \sqrt[3]{\frac{17,4 \cdot 10^3}{0,1 \cdot 100}} = 16,85 \text{ мм.}$$

Приймаємо під підшипником вал діаметром 30 мм.

$$\text{Тоді } \sigma = \frac{M_3}{W} \leq [\sigma]_3 \quad (3.18)$$

$$W = 0,1 \cdot d^3 = 0,1 \cdot 30^3 = 2700 \text{ мм}^3.$$

$$\sigma = \frac{43200}{2700} = 16 \text{ кг/мм}^2 < [\sigma]_3 = 100 \text{ кг/мм}^2.$$

Розрахуємо коефіцієнт запасу міцності:

$$n = \frac{[\sigma]}{\sigma} = \frac{100}{16} = 6,25$$

Запасу міцності достатньо для надійної роботи пружинного ротора.

Для даної конструкції вибираємо підшипник кочення 80206 з наступними параметрами:

- внутрішній діаметр $d = 30 \text{ мм}$;
- зовнішній діаметр $D = 62 \text{ мм}$;
- ширина $B = 16 \text{ мм}$;
- статичне навантаження підшипника $C = 19000 \text{ Н}$.

Згідно попередніх розрахунків знаходимо необхідне навантаження

$$C = P(n \cdot h)^{0,3} \quad (3.19)$$

де $P = R_A = R_B = 11,2 \text{ Н}$

n – кількість обертів пружинного ротора, з попередніх розрахунків $n = 2,2 \text{ с}^{-1}$
або $n = 132 \text{ хв}^{-1}$

h – розрахункова довговічність, годин. Для просапного культиватора зазвичай ресурс складає 9 років. Нормативний показник роботи для культиваторів аналогічного призначення складає 250 годин у рік. Тоді $h = 2250 \text{ годин}$.

Підставивши значення, отримуємо:

$$C_p = 11,2(132 \cdot 2250)^{0,3} = 4442,8 \text{ Н}$$

Визначаємо коефіцієнт запасу

					КРНВ 00.000.ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\pi = \frac{C}{C_p} = 4,29,$$

цього достатньо для якісної та надійної роботи культиватора.

3.4.2. Розрахунок на міцність гряділя

Схема для розрахунків прикладення зусиль приведена на рис. 3.7. а,б.

Гряділь представляє собою дві штаби 10х45 мм, які скріплені по кінцях з відстанню між штабами 26 мм,. На гряділі закріплюються тримачі для робочих органів, які при роботі передають зусилля на гряділь. Для практичних цілей виконаємо орієнтовний розрахунок на міцність гряділя з урахуванням ряду припущень [11,12];

- підвіска секції має достатню стійкість і гряділь можна представити як балку жорстко закріплену в точці О;
- при сталому переміщенні система є зрівноваженою, тобто

$$\sum M_2 = M_{2,0} - M_1 - M_2 + M_3 - M_4 + M_5 - M_6 + M_7 + M_8 = 0 \quad (3.20)$$

Так як $M_3 = M_6$ і $M_4 = M_5$ але мають різні знаки, то вони взаємно урівноважуються, Тому

$$\sum M_2 = M_{2,0} - M_1 - M_2 + M_7 + M_8 = 0 \quad (3.21)$$

$$M_{2,0} = M_1 + M_2 - M_7 - M_8 \quad (3.22)$$

Розглянемо зусилля, які діють в горизонтальній площині (рис.3.7.) і побудуємо епюру моментів . На ділянці АВ діє згинаючий момент.

$$M_{AB} = R'_{zx} (a - b) = 13 \cdot (34 - 11) = 300 \text{ кг} \cdot \text{см} \quad (3.23)$$

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

$$M_0 = A_{\text{усум}} (\ell + \ell_1) - G_c \cdot \ell_1 = 2 \cdot 21,6(83 + 25) - 77,2 \cdot 25 = 4660 - 1930 = 2730 \text{ кг} \cdot \text{см} \quad (3.26)$$

Сумарний M становить

$$M_{\text{усум}} = \sqrt{M_{\epsilon}^2 + M_z^2} = \sqrt{3390^2 + 300^2} = 3600 \text{ кг} \cdot \text{см} \quad (3.27)$$

Розглянемо поперечний перетин гряділя

$$I_y = \frac{h\epsilon^3}{12}; \quad (3.28)$$

$$W_y = \frac{I_y}{Y_{\max}} = \frac{\frac{h\epsilon^3}{12}}{\frac{\epsilon}{2}} = \frac{h\epsilon^3}{6} \quad (3.29)$$

Згин в горизонтальній площині

$$I_y = 2\left(\frac{h\epsilon^3}{12} + F \cdot \eta^2\right) \quad (3.30)$$

$$W_y = \frac{2 \cdot \left(\frac{h\epsilon^3}{12} + F \cdot \eta^2\right)}{\eta + \frac{\epsilon}{2}} \quad (3.31)$$

$$W_y = \frac{2 \cdot \left(\frac{4,5 \cdot 1,0^3}{12} + 4,5 \cdot 1,8^2\right)}{1,8 + 0,5} = 16,2 \text{ см}^3$$

Згин в вертикальній площині

$$I_x = \frac{\epsilon h^3}{12} \quad (3.32)$$

$$W_x = \frac{2I_x}{\frac{h}{2}} = \frac{\frac{2\epsilon h}{12}}{\frac{h}{2}} = \frac{\epsilon h^2}{3} \quad (3.33)$$

					КРНВ 00.000.ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_x = \frac{1,0 \cdot 4,5^2}{3} = 7,0 \text{ см}^3$$

$$W_p = W_y + W_x = 16,2 + 7 = 23,2 \text{ см}^3 \quad (3.34)$$

Рівняння міцності записується наступним виразом:

$$G = \frac{M_{32}}{W_p} \leq [G] \quad (3.35)$$

$$G = \frac{3600}{23,2} = 155 \text{ кг / см}$$

$$155 < 2000$$

На підставі проведеного аналізу можна зробити висновок, що скручування гряділя не відбувається так як моменти сил, що діють взаємно урівноважуються. Таким чином модернізований гряділь культиватора КРНВ-5,6 при роботі з плоскою різальними полієними лапами на глибину до 10 см має достатню міцність.

Запас міцності на згинання визначимо зі співвідношення

$$n_{32} = \frac{[G]}{G_{\max}} = \frac{2000}{155} = 12,9 \approx 13 \quad (3.36)$$

Досить високий запас міцності може бути необхідний при тимчасовому подоланні підвищеного опору в результаті впливу різної твердості ґрунту та різних сторонніх включень, які можуть знаходитися в ньому.

					КРНВ 00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Висновки

Внесені зміни в конструкцію культиватора КРНВ-5,6 – удосконалена конструкція секції робочих органів, обладнання туковисівного апарата дозуючим шнеком з суцільними витками, повинні підвищити загальну надійність виконання технологічного процесу та якість дозування мінеральних добрив туковисівним апаратом, а відповідно і рівномірність розподілу добрив по довжині рядка. Проведені технологічні, кінематичні, силові та міцнісні розрахунки підтверджують можливу працездатність запропонованих конструкційних змін.

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

ЛІТЕРАТУРА

1. Медведєв В.В., Бука А.Я., Губарева Д.І., Дерев'янко Р.Г. Грунтово-екологічні умови виробництва сільськогосподарських культур. / Під ред. Медведєва В. В.– К.: Урожай, 1991. – 175с.
2. Шикіула М.К. Грунтозахисна система землеробства: Довідк. кн. – Х.: Прапор, 1987.-200 с.
3. Шевченко М.В. Вплив різних способів основного обробітку ґрунту на умови росту та продуктивність культур зернопросапної ланки сівоzmіни в умовах лівобережного лісостепу України: Автореф. дис... канд. с.-г. наук. – К., 1997. – 22 с.
4. Малихін І. І. Вплив окремих систем обробітку ґрунту на її водно-фізичні властивості та врожайність соняшнику.// Питання агротехніки і екології в сучаснім землеробстві: Зб. наук. пр./ Харків. с.-г. ін-т. ім. В. В. Докучаєва. – Харків, 1990. – С.55–62.
5. Науково-обґрунтована система ведення агропромислового виробництва в Кіровоградській області. / ISBN966-383-042-5. Кіровоградський інститут АПВ УААН, 2005, 265с.
6. Машина для сівби, садіння та догляду за посівами. В. Сало, С. Лещенко, П. Лузан, Л. Сало.// Навчальний посібник.- Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф. 2022,-220с.; іл. ISBN 978-617-7813-62-9
7. О. Гайденко. Основні агротехнічні вимоги до обробітку ґрунту та сівби. / Механізація АПК / Вівторок, 11 серпня 2020 15:15. Режим доступу: <https://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/18415-osnovni-ahrotekhnichni-vymohy-do-obrobitku-gruntu-ta-sivby.html>
8. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи конструкція, проектування: Підруч. Для студент вищ. навч. закл. із спец. «Машини та облад. с.-г. вир-ва» / За ред. М.І.Черновола. Кн.1 Машини для рільництва / П.В. Сисолін, В.М. Сало, В.М. Кропивний. – К.: Урожай, 2001. – 384 с.
9. Проектування сільськогосподарських машин. Навчально-методичний посібник для виконання курсових проектів з розробки сільськогосподарської техніки при підготовці фахівців напряму «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва». Бендера І.М.,Рудь А.В., Козій Я.В. та ін. – Кам'янець-подільський: ФОП Сисин О.В.,2010.– 640 с.ISBN 978-611-539-016-8
10. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Т. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.
11. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник / В.Т. Павлище. К.: Вища школа, 1993. 560 с.
12. Киркач Н.Ф., Баласанян Р.А. Розрахунки і проектування деталей машин.– Харків, 1987.– 270 с

					КРНВ 00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

ДОДАТКИ

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