

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

“ ____ ” _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:**

«Модернізація просапного культиватора з удосконаленням секції
робочих органів»

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

ОПП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

_____ Прудкий Євген Володимирович

« ____ » _____ 2026 р.

Керівник проекту

доц., канд.техн.наук

_____ Олександр НЕСТЕРЕНКО

« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент

проф., докт.техн.наук

_____ Микола МОРОЗ

« ____ » _____ 2026 р.

Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Агротехнічний

Кафедра Сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень

Галузь знань 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

Освітньо-професійна програма «Галузеве машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

«__» _____ 2026 року

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

Прудкий Євген Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Модернізація просапного культиватора з удосконаленням секції робочих органів
2. Керівник роботи Нестеренко Олександр Вікторович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
3. Строк подання роботи до захисту 18.06.2026 р.
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи (проекту) Підвищення ефективності роботи просапного культиватора шляхом удосконалення секції робочих органів.
5. Перелік графічного матеріалу 1.Культиватор УСМК (Загальний вигляд) - 1 арк (фА1); 2. Складальне креслення вузла 1 арк. (фА1); 3. Деталювання 1 арк (фА1). Всього 3 аркуша формату А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-4	Нестеренко О.В.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Виконання розділів 1, 2		
	Графічна частина арк. 1	04.04.2026 р.	
2	Виконання розділу 3		
	Графічна частина арк. 2	18.04.2026 р.	
3	Виконання розділу 4		
	Графічна частина арк. 3	24.05.2026 р.	
4	Написання висновків	04.06.2026 р.	
5	Оформлення пояснювальної записки,		
	графічної частини, підготовка до захисту	15.06.2026 р.	

Дата видачі завдання

«16» лютого 2026 р.

Підпис керівника

(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

« ____ » _____ 2026 р.

Підпис здобувача

(прізвище та ініціали)

Зміст

1. Вступ.....	5
2. Стан питання про культиватори для міжрядного обробітку.....	7
3. Конструкторська частина	17
4. Висновки	36
Список використаних джерел	37
Додатки.....	39

					МПК 00.000 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ВСТУП

Підвищення ефективності виробництва продукції рослинництва значною мірою залежить від якості виконання технологічних операцій догляду за посівами. Особливого значення набуває міжрядний обробіток ґрунту під час вирощування просапних культур, оскільки саме на цьому етапі створюються умови для пригнічення бур'янової рослинності, покращення водно-повітряного режиму ґрунту та забезпечення сприятливого середовища для розвитку кореневої системи культурних рослин [1].

В умовах сучасного агровиробництва спостерігається тенденція до збільшення робочих швидкостей машинно-тракторних агрегатів, що дозволяє підвищити продуктивність виконання технологічних операцій. Разом із тим зростання швидкості руху супроводжується підвищенням динамічних навантажень на робочі органи та несучі елементи машин. Для просапних культиваторів це проявляється у виникненні додаткових коливань секцій, погіршенні стабільності їхнього руху відносно рядків культурних рослин та зниженні точності дотримання заданих параметрів обробітку [2, 3].

Аналіз конструкцій сучасних просапних культиваторів свідчить, що якість міжрядного обробітку значною мірою визначається не лише типом робочих органів, а й конструктивними особливостями секції, яка забезпечує їх взаємне розташування та просторову стабільність під час роботи [2, 3]. Від жорсткості елементів підвіски секції, довжини гряділя, розташування опорних коліс та характеристик робочих органів залежить точність копіювання поверхні поля, рівномірність обробітку ґрунту по глибині та величина захисної зони біля рядка рослин.

Серед машин, що використовуються для догляду за посівами цукрових буряків, кукурудзи, соняшнику та інших просапних культур, широкого поширення набули культиватори серії УСМК.

					МПК 00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Прудкий				Пояснювальна записка		
Перевір.	Нестеренко						
Реценз.							
Н. Контр.	Артеменко						
Затверд.	Васильковський						
					Літ.	Арк.	Аркушів
						5	39
					ЦНТУ, гр. ГМ-22-1		

Практика їх експлуатації підтверджує достатню надійність та універсальність конструкції. Водночас результати виробничого використання свідчать про наявність окремих конструктивних недоліків секцій робочих органів.

Одним із перспективних шляхів підвищення ефективності роботи культиватора УСМК-5,4 є комплексне удосконалення секції робочих органів, яке передбачає оптимізацію параметрів голчастих дисків, підвищення жорсткості переднього кронштейна та зменшення довжини гряділя. Реалізація зазначених конструктивних рішень дозволяє підвищити стійкість руху секції, зменшити навантаження на її елементи, покращити якість обробітку ґрунту та забезпечити більш ефективне знищення бур'янів у міжряддях.

Таким чином, модернізація просапного культиватора УСМК-5,4 з удосконаленням секції робочих органів є актуальним завданням спрямованим на підвищення ефективності технологічного процесу міжрядного обробітку просапних культур та покращення експлуатаційних показників машини.

					МПК 00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ПРОСАПНИХ КУЛЬТИВАТОРІВ

2.1 Агротехнічні вимоги до міжрядного обробітку просапних культур

Міжрядний обробіток ґрунту належить до найбільш відповідальних технологічних операцій під час вирощування просапних культур. Його основним призначенням є підтримання оптимального стану ґрунтового середовища упродовж вегетаційного періоду шляхом розпушування поверхневого шару, руйнування ґрунтової кірки, знищення бур'янової рослинності та створення сприятливих умов для розвитку кореневої системи рослин. Дослідженнями встановлено, що своєчасне проведення міжрядного обробітку дозволяє суттєво покращити водно-повітряний режим ґрунту, зменшити втрати вологи та підвищити ефективність використання поживних речовин рослинами [1].

Особливістю технологічного процесу міжрядного обробітку є необхідність одночасного виконання декількох функцій. З одного боку, робочі органи повинні забезпечувати інтенсивний механічний вплив на ґрунт та бур'яни, а з іншого – виключати пошкодження культурних рослин. Саме тому конструкція просапних культиваторів значною мірою визначається вимогами до точності їх руху відносно рядків посіву.

До основних агротехнічних вимог, які висуваються до просапних культиваторів, належать [2, 3]:

- стабільне підтримання заданої глибини обробітку по всій ширині захвату машини;
- повне або максимально можливе підрізання бур'янів у міжряддях;
- мінімальне пошкодження культурних рослин;
- якісне розпушування ґрунту без винесення вологого шару на поверхню;
- відсутність утворення великих грудок та брил;
- збереження прямолінійності рядків після проходу агрегату;
- висока продуктивність та надійність роботи.

Для більшості просапних культур глибина міжрядного обробітку знаходиться в межах від 4 до 12 см залежно від фази розвитку рослин, типу ґрунту та призначення конкретного проходу культиватора.

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

При цьому відхилення фактичної глибини від заданої не повинно перевищувати ± 2 см. Важливим показником також є ширина захисної зони біля рядка рослин, яка повинна бути мінімальною, але достатньою для запобігання механічним пошкодженням культур.

Останніми роками значна увага приділяється зменшенню використання гербіцидів та переходу до механічних способів боротьби з бур'янами. У зв'язку з цим підвищуються вимоги до робочих органів культиваторів, які повинні забезпечувати ефективне знищення бур'янової рослинності не тільки в міжряддях, а й у безпосередній близькості до культурних рослин. Саме тому сучасні машини все частіше обладнуються ротаційними робочими органами, автоматизованими системами керування та засобами точного ведення по рядках.

Якість виконання міжрядного обробітку значною мірою залежить від конструкції секцій робочих органів. Недостатня жорсткість елементів секції, значні динамічні навантаження та коливання під час руху призводять до відхилення робочих органів від заданої траєкторії, що негативно впливає на рівномірність обробітку та збільшує ризик пошкодження рослин. Тому одним із основних напрямків удосконалення просапних культиваторів є підвищення просторової стабільності секцій та оптимізація параметрів робочих органів.

2.2 Аналіз конструктивних схем сучасних просапних культиваторів вітчизняного виробництва

Вітчизняне сільськогосподарське машинобудування має значний досвід створення технічних засобів для міжрядного обробітку просапних культур. Сучасні конструкції просапних культиваторів базуються на технічних рішеннях, які були закладені в культиваторах серій КРН та УСМК і надалі отримали розвиток завдяки застосуванню нових матеріалів, удосконалених секцій та сучасних робочих органів.

Одним із представників сучасних просапних культиваторів є HARVEST 560 (рис. 2.1) [5]. Машина призначена для міжрядного обробітку посівів кукурудзи, соняшнику та інших просапних культур із шириною міжрядь 70 см.

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



Рис. 2.1. Загальний вигляд міжрядного культиватора HARVEST 560 [5]

Конструкція культиватора побудована за традиційною схемою та включає несучу раму, навісний пристрій, опорно-приводні колеса та секції робочих органів.

Особливістю культиватора HARVEST 560 є використання паралелограмної підвіски секцій, що дозволяє забезпечувати відносно стабільне положення робочих органів при зміні рельєфу поля. На секціях можуть встановлюватися стрілочасті лапи, підживлювальні ножі, захисні диски та ротаційні робочі органи. Разом із тим конструкція має значну довжину секції, що призводить до виникнення додаткових згинальних навантажень на гряділі та елементи кріплення.

Поширеним вітчизняним культиватором є також КПН-5,6 виробництва компанії DEMENTRA (рис. 2.2) [7].



Рис. 2.2. Загальний вигляд міжрядного культиватора КПН-5,6 DEMENTRA [7]

Його конструкція характеризується універсальністю використання та можливістю виконання декількох технологічних операцій за один прохід. Робочі секції обладнані копіювальними колесами та системою регулювання глибини обробки. Використання паралелограмної навіски забезпечує копіювання нерівностей поверхні поля, однак при роботі на підвищених швидкостях можуть виникати поперечні коливання секцій, що погіршує точність ведення робочих органів.

Подальшим розвитком даної конструкції є культиватор КПНФ Nonius-5,6 компанії «Фаворит» (рис. 2.3) [6] . Особливістю цієї машини є посилена рама та можливість внесення сухих мінеральних добрив одночасно з міжрядним обробітком.



Рис. 2.3 Загальний вигляд культиватора КПНФ Nonius-5,6 «Фаворит» [6]

Застосування більш жорстких елементів несучої конструкції дозволяє зменшити деформації рами та покращити стабільність роботи агрегату. Водночас конструкція секцій робочих органів залишається традиційною і має характерні для більшості прорисованих культиваторів недоліки, пов'язані з виникненням коливань у горизонтальній площині.

Серед сучасних українських машин окремої уваги заслуговує культиватор Altair 5,6-06 виробництва підприємства ELVORTI (рис. 2.4) [4].

Машина обладнана вдосконаленими секціями, що дозволяють встановлювати широкий спектр робочих органів залежно від умов експлуатації. Важливою особливістю культиватора є використання сучасних технологій

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

виготовлення несучих конструкцій, що забезпечує достатню жорсткість рами при відносно невеликій масі.



Рис. 2.4 Загальний вигляд культиватора Altair 5,6-06 ELVORTI [4]

Перевагою конструкції Altair 5,6-06 є можливість комплектації різними типами захисних пристроїв для роботи поблизу рядків рослин. Це дозволяє зменшити ризик пошкодження культур та підвищити ефективність механічного знищення бур'янів. Разом із тим ефективність роботи значною мірою залежить від стабільності руху секцій, яка визначається жорсткістю їх конструкції та параметрами підвіски.

Одним із найбільш поширених представників класичної схеми просапних культиваторів залишається культиватор General КРН-5,6. Його конструкція є розвитком відомих культиваторів серії КРН, які протягом багатьох років широко використовуються в господарствах України. Основними перевагами машини є простота конструкції, ремонтпридатність та універсальність застосування. Робочі органи можуть комплектуватися різними типами лап, ротаційних батарей та підгортачів.

Порівняльний аналіз сучасних вітчизняних просапних культиваторів свідчить, що більшість виробників використовують подібні конструктивні рішення. Основу машин складають жорстка несуча рама та секції з паралелограмною підвіскою. Така схема забезпечує достатню простоту конструкції та високу надійність роботи. Водночас спільними недоліками більшості культиваторів залишаються значні навантаження на елементи секцій, недостатня жорсткість окремих вузлів та схильність робочих органів до поперечних коливань.

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

2.3 Аналіз конструкцій сучасних просапних культиваторів іноземного виробництва

Останніми роками у світовому сільськогосподарському машинобудуванні спостерігається стійка тенденція до підвищення точності механічного догляду за посівами просапних культур. Це пов'язано зі збільшенням вартості засобів захисту рослин, необхідністю зменшення гербіцидного навантаження на навколишнє середовище та впровадженням технологій точного землеробства. У зв'язку з цим провідні виробники сільськогосподарської техніки приділяють значну увагу розробці високоточних міжрядних культиваторів, оснащених системами автоматичного керування та новими типами робочих органів [2, 16].

Одним із найбільш відомих представників сучасної техніки для міжрядного обробітку є культиватор Steketee EC-Weeder (рис. 2.5) [9]. Конструкція машини побудована за модульним принципом та передбачає можливість роботи з різною кількістю секцій залежно від ширини міжрядь та технологічних вимог конкретної культури.



а



б



в

Рис. 2.5 Загальний вигляд культиватора Steketee EC-Weeder [9]

Основною особливістю культиватора є використання системи машинного зору, яка забезпечує автоматичне визначення положення рядків рослин та коригування положення робочих органів у процесі роботи. Для цього використовується спеціальна відеокамера, інформація з якої надходить до

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

електронного блоку керування. Отримані дані обробляються в реальному часі, після чого система формує сигнали для гідравлічного механізму зміщення рами культиватора. У результаті робочі органи постійно утримуються на заданій відстані від рядка культурних рослин.

Завдяки високій точності наведення захисна зона біля рослин може бути зменшена до 20–30 мм, що суттєво підвищує ефективність механічного знищення бур'янів. У традиційних культиваторах цей показник зазвичай становить 80–120 мм. Таким чином, площа необробленої поверхні ґрунту істотно скорочується, що позитивно впливає на фітосанітарний стан посівів.

До переваг культиватора Steketee EC-Weeder належать висока точність роботи, можливість експлуатації на підвищених швидкостях та ефективне знищення бур'янів у безпосередній близькості до культурних рослин. Разом із тим конструкція характеризується високою вартістю, складністю електронного обладнання та підвищеними вимогами до кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Подальшим розвитком концепції високоточного міжрядного обробітку є культиватор HORSCH Transformer VF (рис. 2.6) [10]. Дана машина призначена для роботи в умовах інтенсивного землеробства та оснащується сучасними системами автоматичного ведення по рядках. Особливістю конструкції є використання складної багатосекційної рами з можливістю зміни конфігурації залежно від ширини міжрядь та кількості рядків культури.



Рис. 2.6 Секція робочих органів культиватора HORSCH Transformer VF [10]

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

Для забезпечення високої точності обробітку культиватор обладнаний системою відеоспостереження, яка працює у двох режимах розпізнавання рослин. Перший режим базується на аналізі кольорового зображення, а другий використовує тривимірну ідентифікацію рядків незалежно від кольору рослин.

Робочі органи культиватора включають стрілчасті лапи, бритвені ножі та захисні диски. Захисні елементи встановлюються безпосередньо біля рядка рослин і запобігають засипанню або пошкодженню сходів під час роботи. Завдяки цьому можливо працювати на мінімальних захисних відстанях без ризику зниження густоти стояння рослин.

Важливою перевагою конструкції Transformer VF є висока жорсткість рами та можливість роботи на значній швидкості руху. Разом із тим складність конструкції, наявність великої кількості електронних систем та висока вартість обмежують широке використання таких машин у більшості господарств України.

Серед сучасних культиваторів особливе місце займає Kverneland Onyx (рис.2.6) [11]. На відміну від попередніх машин, основна увага при його створенні була приділена автоматизації роботи окремих секцій. Конструкція культиватора передбачає використання системи GEOCONTROL у поєднанні з ISOBUS-керуванням, що дозволяє здійснювати автоматичне піднімання та опускання секцій залежно від положення агрегату на полі.



Рис. 2.7 Секція робочих органів культиватора Kverneland Onyx [11]

Використання електронної системи керування забезпечує високу точність виконання технологічного процесу та зменшує перевитрати палива за рахунок виключення повторного обробітку окремих ділянок поля. Крім того,

					МПК 00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

автоматичне керування дозволяє підтримувати оптимальне положення робочих органів навіть у складних умовах експлуатації.

Конструкція робочих секцій Kverneland Onyx характеризується підвищеною жорсткістю та наявністю великої кількості регулювань. Це дозволяє адаптувати культиватор до різних умов роботи, ширини міжрядь та агротехнічних вимог. Робочі органи забезпечують ефективне підрізання бур'янів і якісне розпушування поверхневого шару ґрунту.

Порівняльний аналіз сучасних міжрядних культиваторів іноземного виробництва свідчить, що головними напрямками їх розвитку є підвищення точності руху секцій відносно рядків рослин, автоматизація процесів керування та зменшення ширини захисних зон. Практично всі провідні виробники використовують системи машинного зору, електронні блоки керування та гідравлічні механізми корекції положення рами або окремих секцій.

Разом із тим аналіз показує, що навіть найсучасніші конструкції продовжують використовувати традиційні схеми секцій робочих органів, основу яких складають гряділі, опорні колеса та паралелограмні механізми підвіски. Це свідчить про актуальність удосконалення саме конструкції секції, оскільки її жорсткість, маса та геометричні параметри безпосередньо впливають на точність роботи культиватора.

2.4 Обґрунтування напрямку модернізації культиватора УСМК-5,4

Культиватор УСМК-5,4 належить до одних з найбільш поширених машин для догляду за посівами просапних культур. Конструкція культиватора забезпечує виконання міжрядного розпушування ґрунту, механічне знищення бур'янів та внесення мінеральних добрив. Проте результати експлуатації свідчать про наявність окремих конструктивних недоліків секції робочих органів, які обмежують можливості підвищення ефективності її роботи.

Одним із таких недоліків є недостатня жорсткість переднього кронштейна кріплення секції. Під час руху агрегату по нерівній поверхні поля на елементи секції діють змінні вертикальні та горизонтальні навантаження, які викликають пружні деформації кронштейна.

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

У результаті виникають поперечні коливання секції та відхилення робочих органів від заданої траєкторії руху. Особливо інтенсивно цей процес проявляється при збільшенні швидкості руху агрегату та роботі на ущільнених ґрунтах. Відхилення секції від осі рядка призводить до збільшення захисної зони та погіршення якості механічного знищення бур'янів, а в окремих випадках – до пошкодження культурних рослин.

Іншим фактором, який впливає на якість роботи культиватора, є конструкція голчастих робочих органів. Голчасті диски використовуються для руйнування ґрунтової кірки, розпушування поверхневого шару ґрунту та знищення проростків бур'янів у захисній зоні рядка. Ефективність їх роботи визначається діаметром диска, кількістю голок, кутом їх розташування та характером взаємодії з ґрунтом. Аналіз експлуатаційних показників показує, що існуюча конструкція голчастих дисків не повністю реалізує потенційні можливості ротаційного способу обробітку ґрунту. За певних умов роботи частина бур'янів не видаляється з кореневою системою, що знижує загальну ефективність технологічного процесу

Суттєвий вплив на навантаженість конструкції секції має також довжина гряділя. Оскільки робочі органи розташовані на значній відстані від точки кріплення секції до рами культиватора, під час роботи виникають згинальні моменти, величина яких зростає зі збільшенням довжини гряділя. Це призводить до підвищення навантажень на елементи підвіски, збільшення деформацій конструкції та погіршення стабільності положення робочих органів відносно поверхні поля. Крім того, збільшення довжини гряділя супроводжується зростанням маси секції та погіршенням її динамічних характеристик.

Таким чином, запропонована модернізація спрямована на підвищення технологічної ефективності культиватора УСМК-5,4 шляхом покращення роботи голчастих робочих органів, зменшення коливань секції та зниження навантажень на її конструктивні елементи. Реалізація зазначених заходів повинна забезпечити підвищення якості міжрядного обробітку, покращення умов росту культурних рослин та підвищення експлуатаційної надійності машини.

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

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Опис об'єкту розробки

Об'єктом розробки в даній кваліфікаційній роботі є секція робочих органів культиватора-рослинопідживлювача УСМК-5,4, який використовується для догляду за посівами просапних культур [12]. Машина забезпечує міжрядне розпушування ґрунту, механічне знищення бур'янової рослинності та локальне внесення мінеральних добрив у зону розташування кореневої системи рослин.

Під час вирощування цукрових буряків особливого значення набуває якісна обробка захисних зон рядків у початковий період вегетації. Для виключення ручного прополювання необхідно забезпечити виконання ряду агротехнічних вимог. Ширина захисної зони під час обробітку не повинна перевищувати 40 мм у фазі розвитку рослин «вилочка» та 60 мм при наступних міжрядних обробітках. Розпушування поверхневого шару ґрунту повинно здійснюватися на глибину 20...40 мм із середньоквадратичним відхиленням не більше ± 5 мм. При цьому робочі органи повинні забезпечувати знищення не менше 80 % проростків і сходів бур'янів за умови пошкодження культурних рослин не більше 8 %.

Загальний вигляд культиватора УСМК-5,4 наведений на рис. 3.1. Машина складається з рами 1, опорних коліс 2, опори 3, секцій робочих органів 4, транспортного пристрою 5, туковисівних апаратів 6, приводу туковисівних апаратів 7 та автозчіпного обладнання 8 і 9.

Основою конструкції культиватора є рама 1, яка являє собою жорстку зварну конструкцію. До її складу входить несуча балка 10, виготовлена із квадратної труби, фланець 11 для кріплення транспортного пристрою, замок автозчіпки 12, скоби 13 та трубчастий кронштейн 14 для встановлення транспортної автозчіпки. У центральній частині рами розташована стійка 15, до якої приєднується автозчіпка, що використовується під час роботи культиватора в агрегаті з трактором.

					МПК 00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

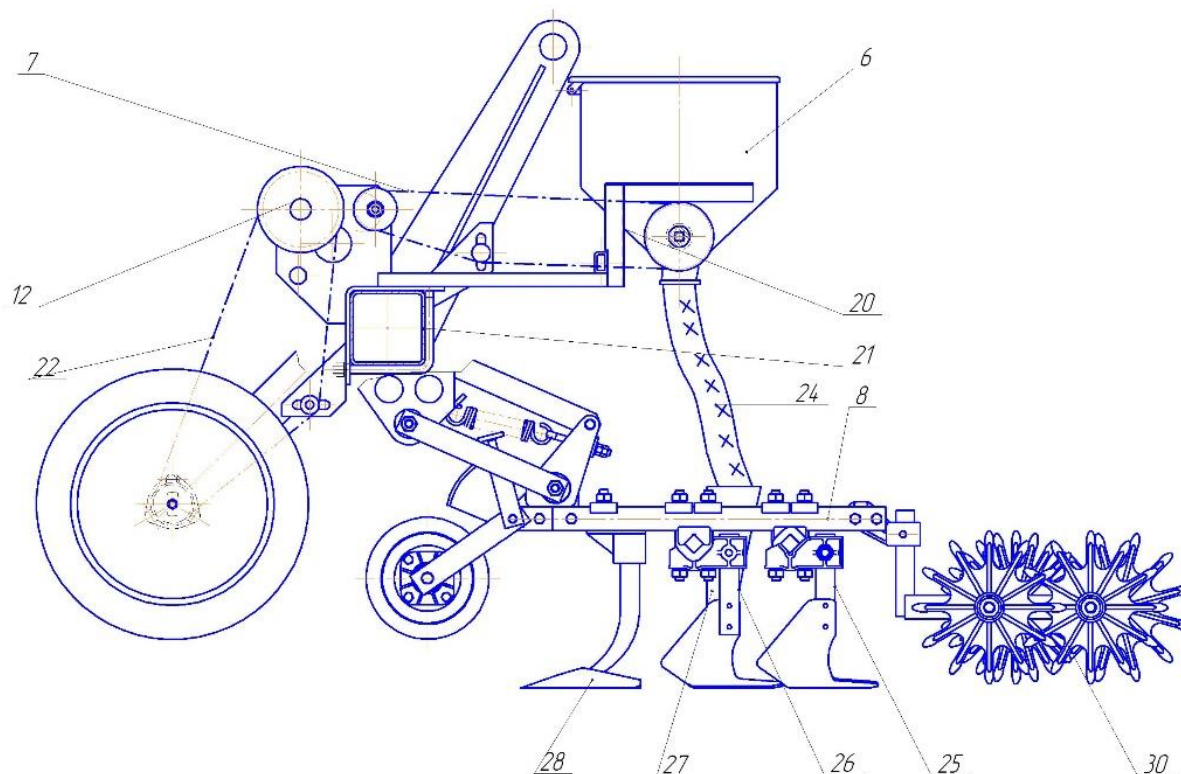


Рис. 3.1. Конструкційна схема культиватора-рослинопідживлювача
УСМК-5,4

Опорні колеса 2 призначені для підтримання машини у робочому положенні та регулювання глибини обробітку. Кожне колесо встановлене на підшипникових вузлах та закріплене на кронштейні 16, який за допомогою стрем'янок приєднується до рами. Під час переведення культиватора у транспортне положення опорні колеса виконують функцію транспортних.

Для забезпечення стійкого положення машини під час агрегування, технічного обслуговування та зберігання передбачена опора 3. Вона встановлюється у трубчастий кронштейн 14, розташований на торцевій частині рами. Конструкція опори дозволяє фіксувати її у різних положеннях залежно від режиму використання культиватора.

Основним робочим вузлом машини є секція робочих органів 4 (рис. 3.2), яка приєднується до бруса рами за допомогою переднього кронштейна 1 та скоби 2. До складу секції входять рамка зв'язуюча 3, копіювальне колесо 4 та гряділь 5, на якому за допомогою тримачів 6 встановлюються відповідні робочі органи.

Конструктивною основою секції є зв'язуюча рамка 3, виконана у вигляді чотириланкового паралелограмного механізму 8. До його складу входять передній кронштейн 9, задній кронштейн 10 та рамка 11.

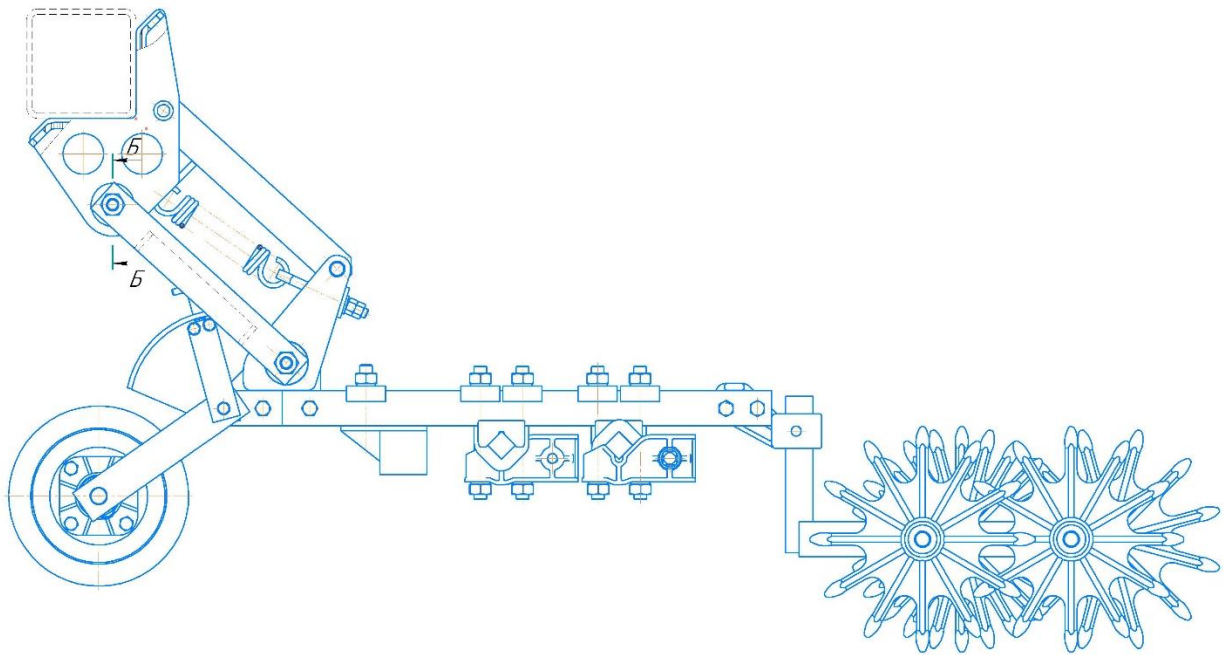


Рис. 3.2. Секція робочих органів з бороною п'ятидисковою

Така конструкція забезпечує вертикальне переміщення секції під час копіювання нерівностей поверхні поля та сприяє стабільному підтриманню глибини обробітку. За допомогою регулювального гвинта 12 та стяжної гайки 13 здійснюється налаштування кута входження робочих органів у ґрунт.

Гряділь 5 використовується як несучий елемент для встановлення робочих органів. Конструкція кріплення тримачів забезпечує можливість розміщення одного, двох або трьох робочих органів на одній секції залежно від технологічних вимог. Регулювання глибини обробітку виконується за допомогою сектора 7, а необхідне притискне зусилля створюється пружиною 14, яка забезпечує постійний контакт копіювального колеса з поверхнею поля.

На секціях культиватора можуть встановлюватися різні типи робочих органів: стрічасті лапи, лапи-розпушувачі, долотоподібні лапи, ножі для внесення добрив та ротаційні батареї з голчастими дисками. Така універсальність дозволяє використовувати культиватор для виконання широкого спектра технологічних операцій залежно від культури та фази її розвитку.

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

Транспортний пристрій 5 призначений для переведення культиватора у транспортне положення та зменшення його габаритної ширини під час переїздів дорогами загального користування. До його складу входять поперечна балка 17, опори 18 та кронштейн 19 для їх фіксації. На опорах встановлюються світлоповертачі, що підвищують безпеку транспортування машини.

Для внесення мінеральних добрив культиватор обладнаний туковисівними апаратами 6. Кожний апарат монтується на кронштейнах 20 та включає бункер для добрив, висівний механізм шнекового типу, піддон і систему тукопроводів. Привід висівних апаратів здійснюється від опорних коліс через систему ланцюгових передач 22 та зубчастих передач 23, що забезпечує пропорційність між швидкістю руху агрегату та нормою внесення добрив.

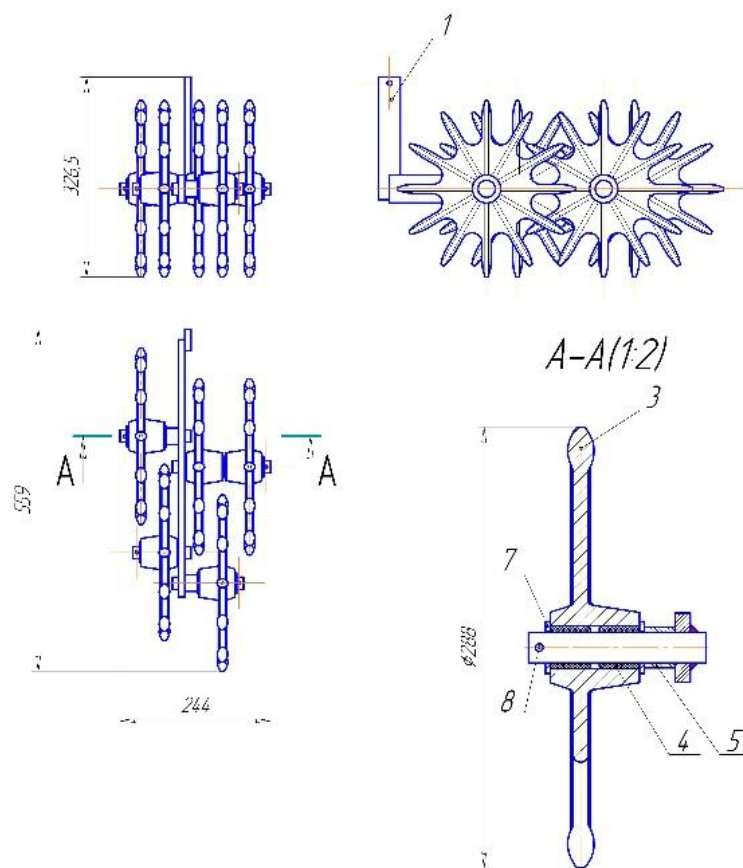


Рис. 3.3. Загальний вигляд борони п'ятидискової

Проведений аналіз конструкції культиватора УСМК-5,4 показує, що найбільший вплив на якість виконання міжрядного обробітку має секція робочих органів. Саме в її елементах виникають основні експлуатаційні

навантаження, які впливають на точність руху робочих органів, стабільність підтримання глибини обробітку та ефективність знищення бур'янів. Тому подальше вдосконалення конструкції доцільно здійснювати шляхом модернізації секції робочих органів, зокрема переднього кронштейна, гряділя та голчастих робочих органів.

3.2 Технологічні розрахунки модернізованої секції культиватора

Розрахунки виконано для модернізованої секції робочих органів культиватора УСМК-5,4, яка призначена для міжрядного обробітку посівів просапних культур на чорноземі опідзоленому. Основною метою розрахункової частини є перевірка технологічної доцільності прийнятих параметрів голчастого робочого органа, оцінювання кінематичного режиму його роботи, визначення силових навантажень і перевірка найбільш навантажених елементів на міцність.

Вихідні дані для розрахунків прийнято за завданням та з урахуванням конструктивної схеми модернізованої секції:

Параметр	Позначення	Значення
Робоча швидкість агрегату	V_m	9,6 км/год
Робоча швидкість у системі SI	V_m	2,67 м/с
Кількість голок на диску	z	12
Діаметр голчастого диска	D	350 мм
Радіус голчастого диска	r	0,175 м
Тип ґрунту	-	чорнозем опідзолений
Ширина стрілкової лапи	b	270 мм
Величина перекриття лап	Δb	40 мм
Матеріал робочих органів	-	сталь 65Г

Для параметрів, які не були задані окремо, у розрахунках прийнято рекомендовані або типові значення для міжрядного обробітку: ширина захисної зони рядка $c = 0,04$ м, глибина поверхневого обробітку голчастим диском $h = 0,04$ м, прискорення вільного падіння $g = 9,81$ м/с², кут тертя рослинних решток і бур'янів по лезу лапи $\varphi = 47,7^\circ$.

3.2.1 Технологічний розрахунок параметрів голчастого робочого органа

Голчастий робочий орган призначений для руйнування ґрунтової кірки, поверхневого розпушування ґрунту та механічного пошкодження проростків бур'янів у зоні, розташованій поблизу рядка культурних рослин. На відміну від пасивних лап, голчастий диск взаємодіє з ґрунтом окремими голками, тому якість його роботи визначається не лише глибиною ходу, а й діаметром диска, кількістю голок, кутом входження робочої поверхні та швидкістю руху агрегату.

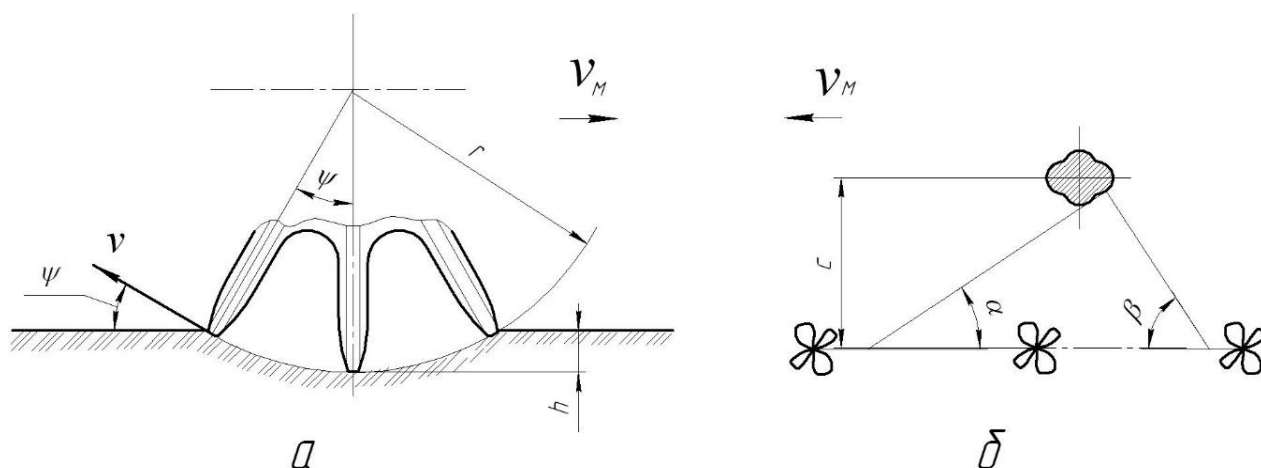


Рис. 3.4. Схема до визначення основних параметрів голчастого диска.

Діаметр модернізованого голчастого диска прийнято $D = 350$ мм, тому його радіус дорівнює

$$r = \frac{D}{2} = \frac{0,350}{2} = 0,175 \text{ м.}$$

Крок розташування голок по колу диска визначаємо за залежністю [13]

$$t = \frac{\pi D}{z}, \quad (3.1)$$

де t - дугова відстань між сусідніми голками, м;

D - діаметр диска, м;

z - кількість голок.

Підставляючи прийняті значення, одержуємо

$$t = \frac{3,14 \cdot 0,350}{12} = 0,0916 \text{ м} = 91,6 \text{ мм.}$$

Отже, при кількості голок $z = 12$ кожна наступна голка входить у ґрунт приблизно через 91,6 мм дугової довжини кола. Такий крок забезпечує достатню частоту дії робочих елементів на поверхневий шар ґрунту без надмірного збільшення тягового опору.

Для оцінювання безпечності роботи голчастого диска біля рядка необхідно врахувати можливість відкидання частинок ґрунту у напрямку культурних рослин. Кут вильоту частинки ґрунту, яка відокремлюється від голки при виході із ґрунту, визначаємо за виразом

$$\psi = \arccos\left(\frac{r-h}{r}\right), \quad (3.2)$$

де ψ - кут вильоту частинки ґрунту;

r - радіус голчастого диска;

h - глибина обробітку.

Тоді

$$\psi = \arccos\left(\frac{0,175 - 0,040}{0,175}\right) = 39,5^\circ.$$

Дальність переміщення частинки ґрунту в площині руху можна наближено визначити як дальність польоту тіла, кинутого під кутом до горизонту:

$$L = \frac{V_m^2 \cos^2 \beta}{g} \sin(2\psi), \quad (3.3)$$

де L - дальність переміщення частинки ґрунту, м; β - кут розташування бічної грані голки до осі рядка.

Бічне зміщення частинки у напрямку рядка становить

$$c_f = L \sin \beta. \quad (3.4)$$

Для базового кута $\beta = 57^\circ$ при робочій швидкості $V_m = 2,67$ м/с одержуємо

$$L = \frac{2,67^2 \cos^2 57^\circ}{9,81} \sin(2 \cdot 39,5^\circ) = 0,211 \text{ м},$$

$$c_f = 0,211 \sin 57^\circ = 0,177 \text{ м} = 177 \text{ мм}.$$

					МПК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Отримане значення перевищує допустиму захисну зону $c = 40$ мм, тому при швидкості 9,6 км/год базове розташування грані не забезпечує достатнього захисту рядка від викидання ґрунту. Це підтверджує необхідність зміни геометрії голчастого робочого органа.

Граничну швидкість руху, за якої частинки ґрунту не потрапляють у захисну зону рядка, визначаємо за формулою

$$V_{max} = \sqrt{\frac{gc}{\cos^2 \beta \sin(2\psi) \sin \beta}} \quad (3.5)$$

Для $\beta = 57^\circ$ маємо

$$V_{max} = \sqrt{\frac{9,81 \cdot 0,040}{\cos^2 57^\circ \sin(2 \cdot 39,5^\circ) \sin 57^\circ}} = 1,27 \text{ м/с} = 4,56 \text{ км/год.}$$

Оскільки задана робоча швидкість становить 9,6 км/год, у модернізованому робочому органі необхідно змінити кут розташування бічної грані голки. Із умови $c_f \leq c$ для прийнятої швидкості одержано раціональне значення

$$\beta \approx 76^\circ.$$

Перевіримо бічне зміщення частинки ґрунту для цього кута:

$$L = \frac{2,67^2 \cos^2 76^\circ}{9,81} \sin(2 \cdot 39,5^\circ) = 0,0417 \text{ м,}$$

$$c_f = 0,0417 \sin 76^\circ = 0,0404 \text{ м} = 40,4 \text{ мм.}$$

З урахуванням округлення результат відповідає прийнятій захисній зоні. Отже, для модернізованого голчастого диска доцільно прийняти кут розташування бічної грані голки $\beta = 76^\circ$. Це дозволяє працювати на швидкості 9,6 км/год без істотного закидання ґрунту у рядок культурних рослин.

3.2.2 Розрахунок параметрів стрілкової лапи

Стрілчаста лапа використовується для підрізання бур'янів і розпушування ґрунту в міжрядді. Її основними геометричними параметрами є ширина захвату b , кут при вершині 2γ , перекриття між суміжними лапами Δb , кут кришення β_0 та товщина матеріалу.

					МПК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

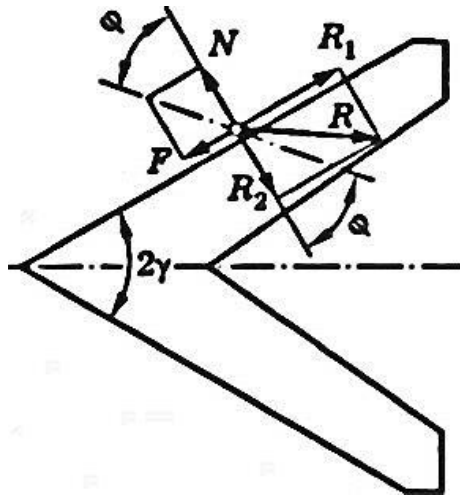


Рис. 3.5 Розрахункова схема параметрів стрільчастої лапи культиватора
УМСК-5,4

Умова ковзного різання бур'янів по лезу лапи має вигляд

$$\gamma \leq 90^\circ - \varphi,$$

де φ - кут тертя бур'яну по лезу. При $\varphi = 47,7^\circ$ маємо

$$90^\circ - \varphi = 90^\circ - 47,7^\circ = 42,3^\circ.$$

Оскільки $\gamma = 30^\circ < 42,3^\circ$, умова ковзного різання виконується. Це означає, що корені бур'янів під час взаємодії з лапою будуть зміщуватися вздовж леза, а ймовірність накопичення рослинних решток на робочій кромці зменшується.

Переміщення бур'яну під дією леза лапи визначаємо за залежністю

$$S = \frac{\Delta b}{\cos(\gamma + \varphi)}, \quad (3.6)$$

де S - зміщення бур'яну до моменту його сходу з леза, мм;

Δb - перекриття лап, мм.

Підставляючи задану величину перекриття $\Delta b = 40$ мм, отримаємо

$$S = \frac{40}{\cos(30^\circ + 47,7^\circ)} = 187,8 \text{ мм.}$$

Отримане зміщення є достатнім для порушення зв'язку бур'яну з ґрунтом навіть у випадку, якщо корінь не був миттєво перерізаний кромкою леза. Це підвищує імовірність повного знищення бур'янової рослинності в зоні дії лапи.

Довжина ділянки леза, яка відповідає заданому перекриттю, становить

$$\Delta l = \frac{\Delta b}{\sin \gamma}.$$

Тоді

$$\Delta l = \frac{40}{\sin 30^\circ} = 80 \text{ мм.}$$

Для попередньої оцінки можливості безпосереднього контакту стебел бур'янів із лезом приймаємо середній діаметр стебла $d = 4$ мм. Тоді кількість стебел, які можуть одночасно розташуватися на ділянці леза Δl , дорівнює

$$n = \frac{\Delta l}{d} = \frac{80}{4} = 20.$$

Прийнята ширина лапи $b = 270$ мм відповідає умовам роботи на зв'язних ґрунтах, оскільки для таких ґрунтів доцільно застосовувати лапи шириною до 350 мм. Отже, за шириною захвату обрана лапа є прийнятною для чорнозему опідзоленого.

Товщину матеріалу лапи попередньо перевіряємо за залежністю

$$\delta \leq 0,03b.$$

Для $b = 270$ мм маємо

$$\delta \leq 0,03 \cdot 270 = 8,1 \text{ мм.}$$

З урахуванням технологічності виготовлення та достатньої жорсткості приймаємо товщину лапи

$$\delta = 6 \text{ мм.}$$

Для універсальної стрілкової лапи кут кришення приймаємо в межах $25 \dots 30^\circ$. У даному розрахунку приймаємо

$$\beta_0 = 25^\circ.$$

Задній кут різання приймаємо $\varepsilon = 10^\circ$, а кут загострення леза $i = 15^\circ$. Тоді передній кут різання становить

$$\beta_p = i + \varepsilon = 15^\circ + 10^\circ = 25^\circ.$$

Отже, для модернізованої секції приймаємо стрілкову лапу шириною 270 мм з перекриттям 40 мм, кутом при вершині 60° і товщиною матеріалу 6 мм.

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

3.3 Силовий аналіз культиватора-рослинопідживлювача УСМК-5,4

Силовий аналіз виконується з метою визначення тягового опору культиватора, навантаження на окремий робочий орган та реакції опорного колеса секції. Отримані значення необхідні для перевірки відповідності агрегату тяговим можливостям трактора, а також для подальших розрахунків деталей модернізованої секції на міцність.

Під час міжрядного обробітку ґрунту робочі органи взаємодіють лише з частиною площі міжряддя. Тому сумарний опір просапного культиватора при догляді за посівами є меншим, ніж при суцільному поверхневому обробітку ґрунту на таку саму глибину. Водночас на точність роботи секції істотно впливають не тільки величина тягового опору, а й напрям дії сил, що прикладені до лапи, голчастих дисків, гряділя і паралелограмного механізму підвіски.

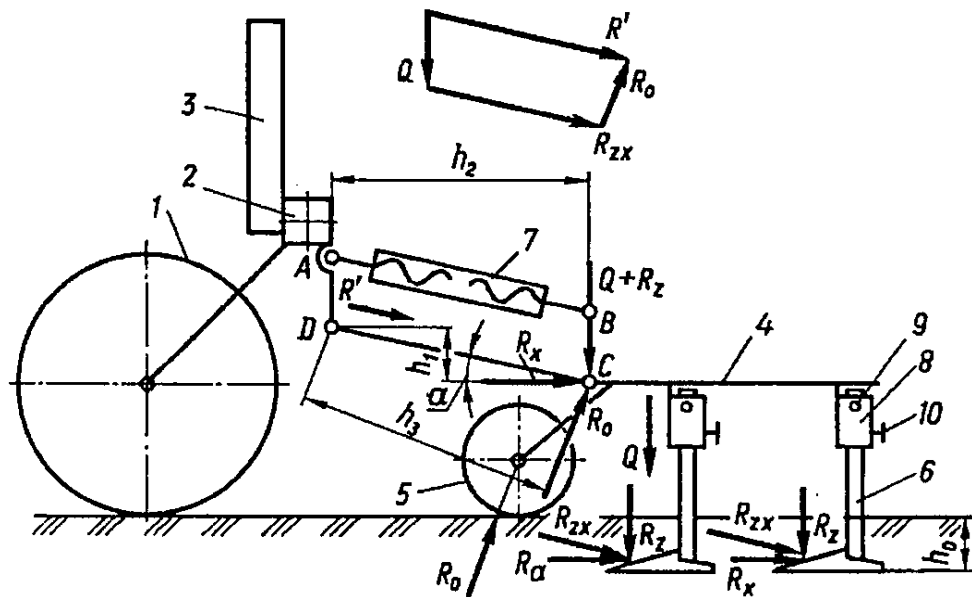


Рис. 3.6. Розрахункова схема просапного культиватора

Для розрахунку приймаємо такі вихідні дані:

- робоча ширина захвату культиватора $B_m = 5,4$ м;
- робоча швидкість руху агрегату $v_m = 9,6$ км/год;
- питомий опір культиватора на чорноземі опідзоленому $K_k = 2,3$ кН/м;
- ширина міжряддя $A = 0,45$ м;
- кількість міжрядь, що обробляються за один прохід, $n = 12$;

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МПК 00.000 ПЗ

Арк.

27

Якщо культиватор умовно розглядати як машину для суцільного поверхневого обробітку, його тяговий опір можна визначити за залежністю [13]

$$R_x = K_k \cdot B_m, \quad (3.7)$$

де K_k – питомий опір культиватора, кН/м;

B_m – робоча ширина захвату машини, м.

Після підстановки прийнятих значень отримаємо

$$R_x = 2,3 \cdot 5,4 = 12,42 \text{ кН.}$$

Однак під час міжрядного обробітку робочі органи обробляють не всю ширину захвату, а тільки смуги між рядками з урахуванням захисної зони. Тому фактичний тяговий опір культиватора при роботі у міжряддях визначаємо за формулою

$$R_{xm} = (A - 2e) \cdot n \cdot K_k, \quad (3.8)$$

де A – ширина міжряддя, м;

e – фактична ширина захисної зони з одного боку рядка, м;

n – кількість міжрядь, що обробляються за один прохід.

Тоді для заданих умов

$$R_{xm} = (0,45 - 2 \cdot 0,04) \cdot 12 \cdot 2,3 = 10,21 \text{ кН.}$$

Отримане значення показує, що при роботі у міжряддях фактичний опір агрегату менший від умовного опору при суцільному обробітку. Зниження пояснюється тим, що частина площі поля, яка відповідає захисним зонам рядків, робочими органами не обробляється.

Потрібну тягову потужність визначаємо за залежністю

$$N_t = \frac{R_{xm} \cdot v_m}{3,6}, \quad (3.8)$$

де R_{xm} – сумарний тяговий опір культиватора, кН;

v_m – робоча швидкість руху, км/год.

Підставляючи числові значення, одержуємо

$$N_t = \frac{10,21 \cdot 9,6}{3,6} = 27,23 \text{ кВт.}$$

					МПК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Отже, для роботи модернізованого культиватора УСМК-5,4 у заданих умовах необхідна тягова потужність становить близько 27,2 кВт. Це значення не перевищує тягових можливостей тракторів класу 1,4, що дозволяє агрегатувати культиватор з тракторами типу МТЗ-80/82 за умови справного технічного стану трактора та правильної підготовки агрегату до роботи.

Для оцінки навантаження на окремий робочий орган визначимо силу опору, яка діє на стрілчасту лапу шириною $b = 270$ мм. Рівнодіючу реакції ґрунту на лапу в напрямку її дії знаходимо за формулою [14]

$$R_{zx} = \frac{10^{-3} \cdot K_k \cdot b}{\cos \theta}, \quad (3.9)$$

де b – ширина захвату стрілчастої лапи, мм;

θ – кут нахилу рівнодіючої сили опору до горизонталі.

Тоді

$$R_{zx} = \frac{10^{-3} \cdot 2,3 \cdot 270}{\cos 10^\circ} = 0,63 \text{ кН.}$$

Вертикальну складову реакції ґрунту, яка впливає на заглиблення або виглиблення робочого органу, визначаємо через кут θ :

$$R_z = R_{zx} \cdot \tan \theta. \quad (3.10)$$

Для прийнятих умов

$$R_z = 0,63 \cdot \tan 10^\circ = 0,11 \text{ кН.}$$

Сумарна рівнодіюча реакції ґрунту на стрілчасту лапу дорівнює

$$R = \sqrt{R_{zx}^2 + R_z^2}.$$

Після підстановки маємо

$$R = \sqrt{0,63^2 + 0,11^2} = 0,64 \text{ кН.}$$

Таким чином, на одну стрілчасту лапу шириною 270 мм при роботі на чорноземі опідзоленому діє рівнодіюча реакції ґрунту приблизно 0,64 кН. Це навантаження необхідно враховувати при розрахунку гряділя, кронштейна та елементів кріплення робочого органу.

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

Для оцінки стійкості роботи секції визначимо реакцію опорного колеса. Вага модернізованої секції з урахуванням зменшення її маси на 0,8 кг становить

$$Q_s = \frac{m_s \cdot g}{1000}.$$

Тоді

$$Q_s = \frac{14,8 \cdot 9,81}{1000} = 0,145 \text{ кН.}$$

Реакцію опорного колеса секції визначаємо з умови рівноваги моментів відносно шарнірної системи паралелограмного механізму [14]:

$$R_0 = \frac{l[(Q_s + R_z)\cos\alpha - R_{zx}\sin\alpha]}{h_3}, \quad (3.11)$$

де $l = 0,275$ м – плече прикладання рівнодіючої сили відносно шарніра секції;

$h_3 = 0,310$ м – плече дії реакції опорного колеса;

$\alpha = 10^\circ$ – кут нахилу ланки паралелограмного механізму.

Підставляємо числові значення:

$$R_0 = \frac{0,275[(0,145 + 0,11)\cos 10^\circ - 0,63\sin 10^\circ]}{0,310} = 0,127 \text{ кН.}$$

Отже, реакція опорного колеса секції становить приблизно 0,13 кН. Це значення свідчить про достатній контакт копіювального колеса з поверхнею поля та можливість стабільного підтримання заданої глибини обробітку.

Зменшення довжини гряділя та маси секції сприяє зменшенню інерційних навантажень і покращує просторову стійкість секції під час руху агрегату.

Оскільки у модернізованій секції застосовується голчастий диск діаметром $D = 350$ мм з кількістю голок $z = 12$, доцільно оцінити його кінематичний режим. За умови кочення без проковзування кутова швидкість диска визначається за формулою

$$\omega = \frac{v}{r_d}, \quad (3.12)$$

де v – швидкість руху агрегату, м/с;

$r_d = D/2$ – радіус голчастого диска, м.

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

Швидкість руху у метрах за секунду дорівнює

$$v = \frac{9,6}{3,6} = 2,67 \text{ м/с.}$$

Тоді

$$\omega = \frac{2,67}{0,175} = 15,24 \text{ рад/с.}$$

Частоту обертання голчастого диска визначаємо за залежністю

$$n_d = \frac{30\omega}{\pi}. \quad (3.13)$$

Звідси

$$n_d = \frac{30 \cdot 15,24}{3,14} = 145,5 \text{ хв}^{-1}.$$

Крок розміщення голок по колу диска становить

$$t = \frac{\pi D}{z}.$$

При $D = 350$ мм і $z = 12$ отримаємо

$$t = \frac{3,14 \cdot 350}{12} = 91,6 \text{ мм.}$$

Отримані значення свідчать, що при робочій швидкості 9,6 км/год голчастий диск обертається з частотою близько $145,5 \text{ хв}^{-1}$, а крок взаємодії голок із ґрунтом становить близько 91,6 мм. Такий режим забезпечує достатню частоту механічного впливу на поверхневий шар ґрунту та сприяє руйнуванню ґрунтової кірки і знищенню проростків бур'янів у зоні роботи диска.

Проведений силовий аналіз показує, що сумарний тяговий опір культиватора УСМК-5,4 при міжрядному обробітку становить 10,21 кН, а необхідна тягова потужність при швидкості 9,6 км/год дорівнює 27,23 кВт.

Рівнодіюча реакції ґрунту на стрілчасту лапу шириною 270 мм становить 0,64 кН. Реакція копіювального колеса модернізованої секції дорівнює приблизно 0,13 кН. Отримані результати підтверджують працездатність прийнятої схеми секції та можуть бути використані для подальшого розрахунку гряділя, кронштейна і елементів кріплення на міцність.

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

3.4 Розрахунок голки на міцність

Голку голчастого диска розглядаємо як консольний елемент, на який діє поперечне навантаження від ґрунту. Найбільш небезпечним є переріз біля основи голки, де виникає найбільший згинальний момент.

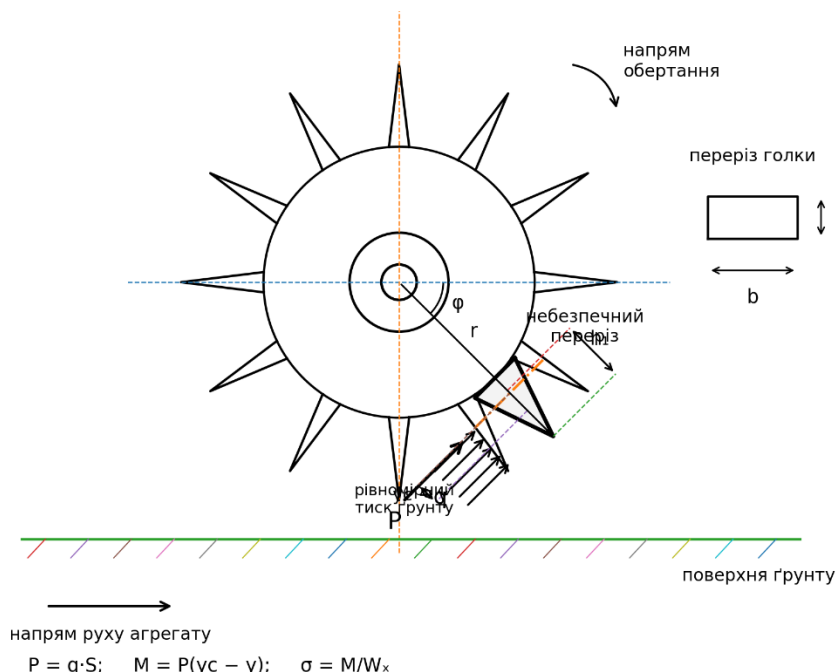


Рис. 3.7 Схема до розрахунку голки на міцність

Розрахункова сила, що діє на одну голку, визначена вище і становить

$$P = 55,6 \text{ Н.}$$

Координату прикладання рівнодійної сили за геометрією зануреної частини голки приймаємо

$$y_c = 0,0442 \text{ м.}$$

Небезпечний переріз розташований на відстані

$$y = 0,014 \text{ м.}$$

Плече згинального моменту становить

$$l_b = y_c - y = 0,0442 - 0,014 = 0,0302 \text{ м.}$$

Згинальний момент у небезпечному перерізі дорівнює

$$M = Pl_b = 55,6 \cdot 0,0302 = 1,68 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Момент опору перерізу голки приймаємо

$$W_x = 3,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МПК 00.000 ПЗ

Арк.

32

Нормальне напруження від згину визначаємо за формулою

$$\sigma = \frac{M}{W_x}.$$

$$\sigma = \frac{1,68}{3,0 \cdot 10^{-6}} = 0,56 \cdot 10^6 \text{ Па} = 0,56 \text{ МПа}.$$

З урахуванням динамічного коефіцієнта $K_d = 3$ отримаємо

$$\sigma_d = K_d \sigma = 3 \cdot 0,56 = 1,68 \text{ МПа}.$$

Для сталі 65Г після термічної обробки допустиме напруження значно перевищує отримане значення. Отже, міцність голки за умовами згину забезпечена.

3.4.1 Розрахунок стояка батареї голчастих робочих органів

Стояк батареї сприймає зусилля від декількох голок і передає їх на рамку секції. Небезпечним вважаємо переріз у місці кріплення стояка до несучої планки. Максимальне нормальне напруження у цьому перерізі визначаємо за формулою [20]

$$\sigma_A = \frac{5P \cos \alpha \cdot l_1}{W_A},$$

де $P = 55,6 \text{ Н}$ - сила, що діє на одну голку;

$\alpha = 57^\circ$ - кут дії сили;

$l_1 = 0,2665 \text{ м}$ - плече дії сили;

W_A - момент опору перерізу стояка.

Для прямокутного перерізу стояка $10 \times 35 \text{ мм}$ момент опору становить

$$W_A = \frac{b_s h_s^2}{6} = \frac{0,010 \cdot 0,035^2}{6} = 2,04 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Тоді

$$\sigma_A = \frac{5 \cdot 55,6 \cos 57^\circ \cdot 0,2665}{2,04 \cdot 10^{-6}} = 19,8 \text{ МПа}.$$

Дотичне напруження в цьому самому перерізі визначаємо за залежністю

$$\tau_A = \frac{P \cos \alpha (l_1 + 2l_2 + l_3 + l_4)}{K b_s h_s^2},$$

де $K = 0,35$ - коефіцієнт для прямокутного перерізу; $l_2 = 0,175$ м; $l_3 = 0,225$ м; $l_4 = 0,365$ м; $l_5 = 0,415$ м.

З урахуванням прийнятих плечей сил одержуємо

$$\tau_A = \frac{55,6 \cos 57^\circ (0,175 + 2 \cdot 0,225 + 0,365 + 0,415)}{0,35 \cdot 0,010 \cdot 0,035^2} = 9,92 \text{ МПа.}$$

Еквівалентне напруження за гіпотезою найбільших дотичних напружень визначаємо як

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_A^2 + 4\tau_A^2}.$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{19,8^2 + 4 \cdot 9,92^2} = 28,0 \text{ МПа.}$$

Отримане напруження значно менше допустимого для сталі 65Г, тому міцність стояка забезпечена.

3.4.2 Розрахунок повздовжньої планки

Повздовжня планка батареї сприймає навантаження від робочих органів та працює переважно на згин. Для інженерної перевірки приймаємо плоску розрахункову схему згину. Максимальне нормальне напруження визначаємо за формулою [20]

$$\sigma_B = \frac{P \cos \alpha (l_2 + 2l_3 + l_4 + l_5)}{W_B}.$$

Для прямокутного перерізу планки 10×45 мм момент опору дорівнює

$$W_B = \frac{b_p h_p^2}{6} = \frac{0,010 \cdot 0,045^2}{6} = 3,375 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Тоді

$$\sigma_B = \frac{55,6 \cos 57^\circ (0,175 + 2 \cdot 0,225 + 0,365 + 0,415)}{3,375 \cdot 10^{-6}} = 12,6 \text{ МПа.}$$

Порівняння з допустимими напруженнями для сталі 65Г показує, що повздовжня планка має достатній запас міцності. Отже, прийняті геометричні параметри планки можуть бути використані у конструкції модернізованої секції.

					МПК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Висновки по розділу

У результаті виконаних технологічних, кінематичних, силових та міцнісних розрахунків встановлено наступне.

1. При діаметрі голчастого диска 350 мм і кількості голок 12 крок розташування голок по колу становить 91,6 мм, що забезпечує достатню частоту дії робочого органа на поверхневий шар ґрунту.

2. Для роботи на швидкості 9,6 км/год базове значення кута бічної грані 57° не забезпечує дотримання захисної зони 40 мм. Для модернізованого голчастого робочого органа раціонально прийняти кут $\beta \approx 76^\circ$.

3. Кутова швидкість голчастого диска при робочій швидкості 9,6 км/год становить 15,24 рад/с, а частота обертання - $145,6 \text{ хв}^{-1}$.

4. Розрахунковий опір однієї секції з урахуванням коефіцієнта перевантаження становить 855,1 Н, а необхідна потужність на переміщення секції - 2,28 кВт.

					МПК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

4. ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу конструкцій вітчизняних та зарубіжних просапних культиваторів встановлено, що одним із найбільш ефективних напрямків підвищення якості міжрядного обробітку є вдосконалення конструкції секцій робочих органів шляхом підвищення їх жорсткості, покращення стійкості руху та оптимізації параметрів робочих органів.

2. У роботі запропоновано модернізовану конструкцію секції культиватора УСМК-5,4, яка передбачає підвищення жорсткості переднього кронштейна, удосконалення параметрів голчастих робочих органів та зменшення довжини гряділя, що сприяє підвищенню точності ведення секції відносно рядків культурних рослин.

3. Виконані технологічні та кінематичні розрахунки голчастого робочого органу дозволили обґрунтувати раціональні параметри голчастого диска, які забезпечують ефективне руйнування ґрунтової кірки, покращення аерації верхнього шару ґрунту та інтенсивніше знищення проростків бур'янів у захисній зоні рядка.

4. За результатами силового аналізу встановлено, що запропоновані конструктивні зміни сприяють зменшенню навантажень на елементи секції та покращують умови взаємодії робочих органів із ґрунтом, що позитивно впливає на стабільність технологічного процесу міжрядного обробітку.

5. Розрахунками на міцність підтверджено працездатність модернізованих елементів конструкції. Визначені значення напружень у голках диска та деталях секції не перевищують допустимих для сталі 65Г, що забезпечує необхідний запас міцності та надійність роботи конструкції в експлуатаційних умовах.

6. Скорочення довжини гряділя дозволило зменшити згинальні навантаження на елементи секції та знизити її масу приблизно на 0,8 кг, що сприяє покращенню копіювання поверхні поля та більш стабільному підтриманню заданої глибини обробітку.

					МПК 00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаної літератури

1. Бур'яни та заходи боротьби з ними. / Г.В. Веселовський, Ю.П. Манько, С.П. Танчик, Л.В. Орел. Київ : Учбово-методичний центр Мінагропрому України, 1998. 240 с.
2. Огляд розвитку засобів для орієнтації просапних знарядь вздовж рядків, зокрема у вирощуванні цукрових буряків / Ветохін В. та ін. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2020. Вип. 26 (40). С. 30–46.
3. Кириченко Р.В., Бакум М.В., Козаченко О.В. та ін. Сільськогосподарські машини. Частина 1. Книга 2. Культиватори: Навчальний посібник / [Р.В. Кириченко, М.В. Бакум, О.В. Козаченко, В.І. Пастухов, А.Д. Михайлов, М.М. Крекот, О.Б. Козій, М.М. Абдуєв] за ред. Р.В. Кириченка і М.В. Бакума. Харків : ДБТУ, 2024. 338 с.
4. [ELVORTI](#). Каталог культиваторів міжрядного обробітку.
5. [HARVEST AGRO GROUP](#). Технічні характеристики культиваторів серії HARVEST.
6. [FAVORIT Agro Tech](#). Культиватори КПНФ Nonius.
7. [Demetra Agro Group](#). Просапні культиватори КПН.
8. Автоматичне керування культиваторами для міжрядного обробітку ґрунту просапних культур / М. Солоха. *Пропозиція*. 2016. № 12. С. 162–165.
9. Культиватори LEMKEN [URL:http://lemken.com.ua/ua/ec-weeder](http://lemken.com.ua/ua/ec-weeder)
10. Культиватори HORSCH URL: <https://www.horsch.com/ua/produkti/gibridne-silске-gospodarstvo/prosapnii-kultivator/transformer-vf>
11. Культиватор Kverneland Onyx. URL: https://vfc.com.ua/catalogue/silskogospodarska_tehnika/polovi_kultivatori/mizhrjadni_kultivatori/kverneland-1548.html
12. <https://umanfermmash.com/mezhdurjadovyj-prosapnoj-kultivator/>

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

13. 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. Київ : Урожай, 2001. 382 с.

14. Гапоненко В.С., Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини. 6-е вид., перероб. і допов. Київ : Урожай, 1992. 448 с.

15. Сисолін П. В., Сало В. М., Рибак Т. І. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування : Підруч. для студ. вищ. навч. закл. із спец. «Машини та обладн. с.-г. вир-ва». Кн. 2. Машини для рільництва. - К. : Урожай, 2002. - 364 с.

16. Напрямки вдосконалення технічних засобів для міжрядного обробітку просапних культур. Нестеренко, О. В., Апостолов, Д. В., Амосов, В. В., & Боровик, В. Ю. (2025). Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, Вип. 55, – С. 250–256.

17. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.

18. ДСТУ 7022:2009. Техніка сільськогосподарська. Методи випробувань.

19. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: Навчальний посібник / За ред. Д.Г. Войтюк, С.С. Яцун, Довжик М.Я. // Суми. Університетська книга – 2008. – 450 С.

20. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник. – К.: Вища школа, 1993. – 556 с.

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

ДОДАТКИ