

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Дармограй Максим Михайлович

УДК 631.31

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПОВЕРХНЕВОГО
ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ З МОДЕРНІЗАЦІЄЮ КУЛЬТИВАТОРА**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Дармограй М.М.

Керівник роботи

Куликівський В.Л.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2024

АНОТАЦІЯ

Дармограй Максим Михайлович. Удосконалення технологічного процесу поверхневого обробітку ґрунту з модернізацією культиватора. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

Кожна операція поверхневого обробітку ґрунту має свої специфічні характеристики та застосовується в залежності від типу ґрунту, кліматичних умов і агротехнічних вимог. Боронування є швидким та економічним методом для поверхневого розпушування ґрунту, культивація забезпечує глибше обробіток та поліпшення структури ґрунту, а дискування ефективно перемішує рослинні залишки та зменшує ерозійні процеси. Вибір відповідного методу залежить від конкретних умов та цілей агротехнічних заходів.

Розроблені в кваліфікаційній роботі робочі органи культиватора покращують подрібнення шару ґрунту та зріз бур'янистої рослинності, сприяють зниженню тягового опору та збільшують діапазон застосування культиватора на ґрунтах різної густини та вологості. Визначено тягові опори культиватора та підібрано запобіжні пружини.

За допомогою проведених розрахунків обґрунтовано: оптимальну робочу швидкість агрегату, що дорівнює 11,5 км/год, основні кінематичні показники культиваторного агрегату та ділянки поля, а також змінну продуктивність агрегату – 36,5 га/год і витрату палива на одиницю виконаних робіт – 2,17 кг/га.

Ключові слова: культиватор, обробіток ґрунту, опір, робочий орган.

ANNOTATION

Darmograi Maksym Mykhailovych. Improvement of the technological process of surface tillage with modernization of the cultivator. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

Each surface tillage operation has its own specific characteristics and is used depending on the type of soil, climatic conditions and agronomic requirements. Harrowing is a fast and economical method for surface loosening, cultivation provides deeper tillage and improves soil structure, and disking effectively mixes plant residues and reduces erosion processes. The choice of the appropriate method depends on the specific conditions and objectives of the agrotechnical measures.

The working bodies of the cultivator developed in the qualification work improve the crushing of the soil layer and the cutting of weeds, help to reduce traction resistance and increase the range of application of the cultivator on soils of different density and moisture. The traction resistance of the cultivator was determined and the safety springs were selected.

The calculations have been used to substantiate the optimal operating speed of the unit equal to 11.5 km/h, the main kinematic parameters of the cultivator unit and the field area, as well as the variable productivity of the unit – 36.5 ha/h and fuel consumption per unit of work performed – 2.17 kg/ha.

Keywords: cultivator, tillage, resistance, working body.

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН, ПЕРСПЕКТИВИ ТА ТЕНДЕНЦІЇ ПИТАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ.....	8
РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	14
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ОПЕРАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ КАРТИ.....	27
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	41
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	42

Актуальність теми дослідження. Підйом сільського господарства і задоволення зростаючих потреб країни в сільськогосподарській продукції багато в чому залежать від всебічної механізації та послідовної інтенсифікації виробництва. Інтенсифікація виробництва може бути вирішена за комплексної механізації сільськогосподарських процесів. Для цього потрібно безперервно створювати нові високопродуктивні й економічні машини, а також постійно приділяти увагу проблемам механізації енергоємних процесів, зокрема обробітку ґрунту [1].

Особлива увага приділяється системі підготовки ґрунту до сівби, що складається з основного та передпосівного обробітку ґрунту. Основний обробіток включає такі прийоми: луцення або оброблення дернини та оранку відвальну (з оборотом пласта) або безвідвальну. За потреби виконуються ще напівпарова культивація та підґрунтове розпушування. Передпосівний обробіток ґрунту спрямований на підготовку насінневого ложа і виконується на невелику глибину (до 8 або 15 см). Ці дві складові обробітку ґрунту нерозривні і тільки разом визначають якість підготовки ґрунту до посіву [2].

Останніми роками в хліборобській практиці низки розвинених країн дедалі ширше застосовують нову прогресивну технологію вирощування сільськогосподарських культур - мінімальний обробіток ґрунту. Застосування її стало можливим завдяки використанню спеціальних комбінованих машин, що виконують за один прохід по полю кілька операцій, а також розширенню виробництва гербіцидів для боротьби з бур'янами [3].

Застосування машин у сільському господарстві збільшує продуктивність праці, дає змогу виконувати роботи в суворій відповідності з агротехнічними вимогами, що висуваються та в найстисліші терміни. У кінцевому результаті правильне застосування машин призводить до зменшення витрат на одиницю продукції та до отримання її у більших кількостях, кращої якості.

Метою дипломного проєкту є підвищення ефективності поверхневого обробітку ґрунту шляхом модернізації культиватора КНК-4.

Завдання проєкту:

1. Проаналізувати основні види культиваторів і конструкції їхніх робочих органів.
2. Розробити культиваторну лапу для поверхневого обробітку ґрунту.
3. Розрахувати операційно-технологічну карту на поверхневий обробіток ґрунту.

Об'єкт дослідження є процес поверхневого обробітку ґрунту.

Предмет дослідження є закономірності зміни техніко-економічних та експлуатаційних параметрів машини для передпосівного обробітку ґрунту від конструктивних параметрів робочих органів.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Міненко С. В., Курський О. О., Тимощук В. В., Дармограй М. М., Кошман М. С. Підвищення ефективності використання сільськогосподарської техніки. Сучасна концепція освітлення в птахівництві. Збірник тез X-ї всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»*. м. Житомир, 20 квітня 2024 року. Житомир : ЖАТФК. С. 54-56.

2. Куликівський В.Л., Дармограй М.М., Курський О.О., Тимощук С.М. Процеси безвідвального обробітку ґрунту. Міжнародна науково-практична конференція молодих науковців, аспірантів і здобувачів вищої освіти *«Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки»*. м. Рівне, 9-10 травня 2024 року. Рівне : НУВГП. С.

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для аграрних підприємств України представляє модернізований культиватор для передпосівного обробітку ґрунту.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 15 найменувань.

Загальний обсяг роботи становить 43 сторінки комп'ютерного тексту, містить 9 рисунків та 1 таблиця.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН, ПЕРСПЕКТИВИ ТА ТЕНДЕНЦІЇ ПИТАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

У сучасному сільському господарстві поверхневий обробіток ґрунту займає важливе місце як одна з ключових технологій, що визначають ефективність аграрного виробництва. Сучасні методи обробітку ґрунту спрямовані на оптимізацію агротехнічних процесів, збереження родючості ґрунту та мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище. Метою цього розділу є аналіз сучасного стану, перспектив та тенденцій у сфері поверхневого обробітку ґрунту [1-8].

Поверхневий обробіток ґрунту включає комплекс агротехнічних заходів, спрямованих на підготовку верхнього шару ґрунту для посіву, поліпшення його структури, збереження вологи та контролю бур'янів. Цей метод охоплює такі операції, як дискування, боронування, культивація та інші [1, 2, 3, 4, 5].

Боронування є одним із найстаріших методів поверхневого обробітку ґрунту. Основним інструментом є борона, що дозволяє руйнувати поверхневу кірку ґрунту, розпушувати його та вирівнювати поверхню.

Переваги [6]:

Висока швидкість виконання операції.

Ефективність у боротьбі з бур'янами.

Поліпшення аерації ґрунту та збереження вологи.

Недоліки:

Обмежена глибина обробітку (до 10 см).

Можливе ущільнення ґрунту при багаторазовому використанні.

Культивація є методом глибшого обробітку ґрунту порівняно з боронуванням. Використовуються культиватори, які розпушують ґрунт на глибину до 20 см [5].

Переваги:

Більш глибоке розпушування ґрунту, що покращує його структуру.

Знищення бур'янів та зменшення їх кількості.

Поліпшення водопроникності та аерації.

Недоліки:

Вища витрата енергії та більші трудові витрати.

Можливість пошкодження кореневої системи культурних рослин.

Дискування включає використання дискових борін, які дозволяють розпушувати та перемішувати верхній шар ґрунту. Ця операція є ефективною для підготовки ґрунту перед посівом.

Переваги:

Ефективне перемішування рослинних залишків з ґрунтом.

Зменшення ерозійних процесів завдяки збереженню рослинного покриву.

Висока продуктивність та економічна ефективність.

Недоліки:

Обмежена глибина обробітку (до 15 см).

Можливість утворення ущільненого шару під верхнім шаром ґрунту.

Таблиця 1.1. Порівняння операцій поверхневого обробітку ґрунту

Операція	Глибина обробітку	Швидкість виконання	Енерговитрати	Вплив на бур'яни	Поліпшення структури ґрунту	Вплив на ерозію
Боронування	до 10 см	Висока	Низькі	Високий	Середній	Низький
Культивація	до 20 см	Середній	Середній	Високий	Високий	Середній
Дискування	До 15 см	Висока	Низькі	Середній	Високий	Високий

Кожна операція поверхневого обробітку ґрунту має свої специфічні характеристики та застосовується в залежності від типу ґрунту, кліматичних умов і агротехнічних вимог. Боронування є швидким та економічним методом для поверхневого розпушування ґрунту, культивація забезпечує глибше обробіток та поліпшення структури ґрунту, а дискування ефективно перемішує

рослинні залишки та зменшує ерозійні процеси. Вибір відповідного методу залежить від конкретних умов та цілей агротехнічних заходів.

У сучасному сільському господарстві інноваційні технології відіграють важливу роль у підвищенні ефективності аграрного виробництва та забезпеченні стійкості агроєкосистем. Розвиток новітніх технологій поверхневого обробітку ґрунту сприяє збереженню родючості ґрунту, зменшенню негативного впливу на довкілля та підвищенню врожайності сільськогосподарських культур. У цьому розділі розглянемо основні інноваційні технології поверхневого обробітку ґрунту, їхні переваги та перспективи застосування [1, 2, 3, 6].

Лазерне вирівнювання ґрунту є однією з передових технологій, яка забезпечує високоточне вирівнювання поверхні поля. Використання лазерного обладнання дозволяє досягти рівномірного розподілу води та поживних речовин, що сприяє оптимальному росту рослин.

Переваги:

Підвищення врожайності завдяки рівномірному розподілу вологи.

Зменшення витрат на зрошення та добрива.

Зменшення ерозійних процесів та збереження структури ґрунту.

Перспективи застосування:

Використання у зонах з обмеженими водними ресурсами.

Інтеграція з системами прецизійного землеробства для автоматизації процесів.

Ультразвукове розпушування ґрунту є інноваційною технологією, яка використовує високочастотні звукові хвилі для розпушування та аерації ґрунту. Цей метод дозволяє уникнути механічного впливу на ґрунт, що зменшує ризик його ущільнення.

Переваги:

Відсутність механічного впливу на ґрунт.

Поліпшення аерації та водопроникності ґрунту.

Збереження мікробіологічної активності та структури ґрунту.

Перспективи застосування:

Використання на ґрунтах з високим ризиком ущільнення.

Застосування у органічному землеробстві для збереження природної структури ґрунту.

Біологічні препарати, що стимулюють розвиток корисної мікрофлори, є важливим елементом інноваційних технологій поверхневого обробітку ґрунту. Вони сприяють покращенню родючості ґрунту та підвищенню його стійкості до стресових умов.

Переваги:

Підвищення родючості ґрунту без використання хімічних добрив.

Зменшення негативного впливу на довкілля.

Збереження та покращення структури ґрунту.

Перспективи застосування:

Використання у органічному та стійкому землеробстві.

Інтеграція з іншими інноваційними методами для комплексного підходу до обробітку ґрунту.

Роботизовані системи для обробітку ґрунту використовують автоматизовані машини та дрони, що забезпечують точність і ефективність виконання агротехнічних заходів. Ці системи можуть працювати автономно, використовуючи GPS та інші сенсорні технології для навігації та контролю стану ґрунту [1, 2, 3, 5, 6].

Переваги:

Висока точність та ефективність обробітку.

Зменшення витрат на ручну працю та підвищення продуктивності.

Можливість роботи в умовах, де людське втручання є складним або небезпечним.

Перспективи застосування:

Використання у великих аграрних підприємствах для автоматизації процесів.

Застосування у важкодоступних або небезпечних для людини районах.



Рис. 1.1. Роботизовано система обробітку ґрунту.

Прецизійне землеробство включає використання сучасних технологій, таких як GPS, дрони, сенсори та інформаційні системи для точного контролю стану ґрунту та виконання агротехнічних заходів. Цей підхід дозволяє оптимізувати використання ресурсів та підвищити ефективність обробітку ґрунту [1, 2, 3, 4].

Переваги:

Точність у виконанні агротехнічних операцій.

Оптимізація використання добрив та води.

Зменшення негативного впливу на довкілля.

Перспективи застосування:

Інтеграція з іншими інноваційними технологіями для комплексного підходу до обробітку ґрунту.

Використання у великих та середніх аграрних підприємствах для підвищення ефективності виробництва.

Інноваційні технології поверхневого обробітку ґрунту відкривають нові можливості для підвищення ефективності та стійкості аграрного виробництва. Використання лазерного вирівнювання, ультразвукового розпушування, біологічних препаратів, роботизованих систем та прецизійного землеробства сприяє збереженню родючості ґрунту, оптимізації агротехнічних процесів та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище. Подальший розвиток та впровадження цих технологій забезпечить сталий розвиток сільського господарства та підвищення його продуктивності [1, 2, 3, 4, 10-14].

Висновки по розділу

Кожна операція поверхневого обробітку ґрунту має свої специфічні характеристики та застосовується в залежності від типу ґрунту, кліматичних умов і агротехнічних вимог. Боронування є швидким та економічним методом для поверхневого розпушування ґрунту, культивація забезпечує глибше обробіток та поліпшення структури ґрунту, а дискування ефективно перемішує рослинні залишки та зменшує ерозійні процеси. Вибір відповідного методу залежить від конкретних умов та цілей агротехнічних заходів.

РОЗДІЛ 2

КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Опис конструкторської розробки

Культиватор КНК-4 призначений для одночасного виконання культивуації, вирівнювання та прикочування поверхні ґрунту.

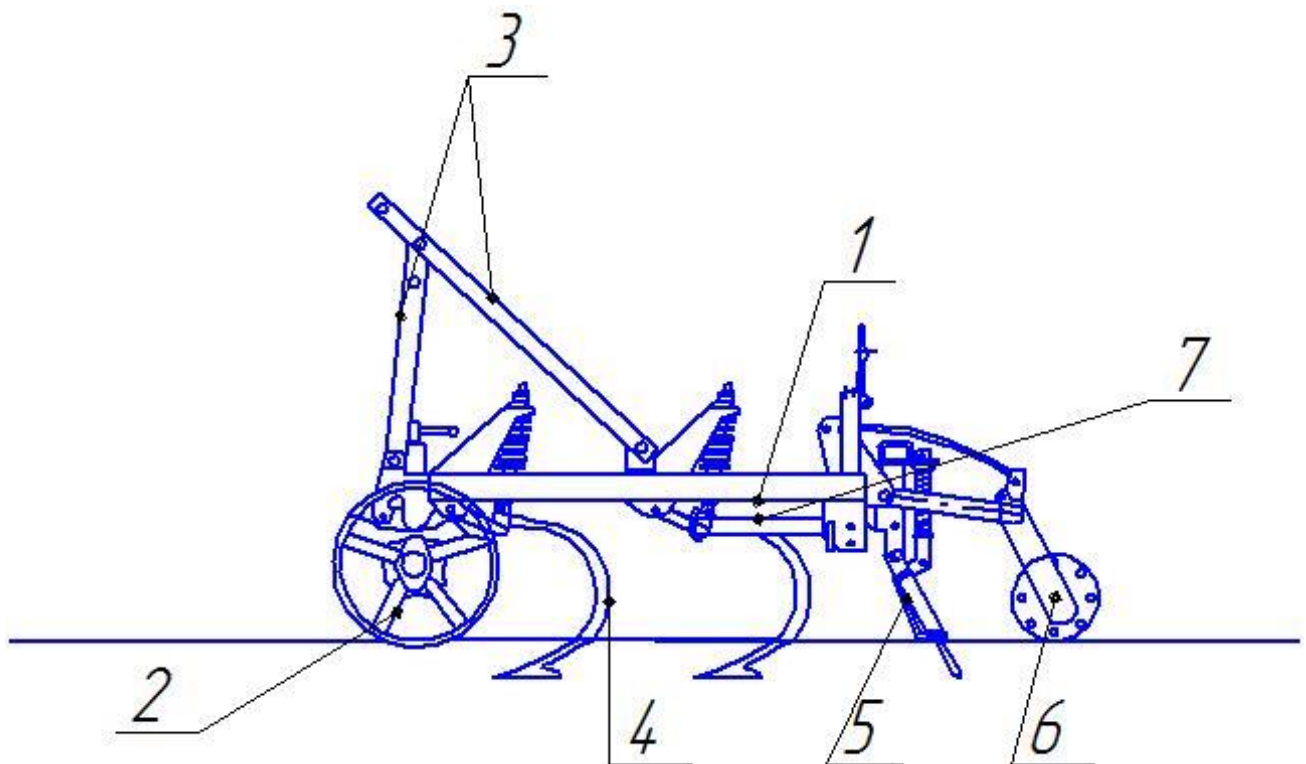


Рис. 2.1. Культиватор комбінований КНК - 4Т: 1 – рама; 2 – опорне колесо; 3 – навісний пристрій; 4 – механізм навішування; 5 – вирівнювач ґрунту; 6 – прикочувальний пристрій; 7 – стійка.

Культиватор комбінований (рис. 2.1) складається з рами 1, колеса опорного 2, двох навісних пристроїв 3 (для МТЗ-80 і ДТ-75), стрілкової лапи з механізмом навішування 4, вирівнювача ґрунту 5, прикочувального пристрою 6, стійки 7 з фіксатором.

Рама 1 зварена за формою прямокутника з квадратних труб, має три поперечних (відносно ходу агрегату) бруса. На передньому брусі кріпляться навісний пристрій, два опорні колеса і перший ряд стрілчастих лап. Спереду на

передньому брусі, під місцями кріплення навішування, приварені кронштейни. З пази кронштейнів вставляється вісь для автоматичного замикання, навішеного на трактор культиватора.

Другий ряд лап кріпиться на середньому брусі рами.

У результаті встановлення модернізованих культиваторних лап підвищується експлуатаційна надійність і знижується тяговий опір культиватора.

Пропонований робочий орган культиватора містить стійку 1, наральник 2, склянку 3, стрижень змінного перерізу 4, розпушувальну лапу 5. До наральника 2 жорстко прикріплений стакан 3, у порожнині якого розміщується задня частина стрижня 7 і пружина з нелінійною характеристикою 8. Розпушувальна лапа 5 встановлена на стрижні змінного перерізу 4 з можливістю повороту відносно нього і фіксується від випадання болтом. Пружний елемент ресорного типу 6 відносно розпушувальної лапи фіксується за допомогою шпильок і гайок. Ступінь стиснення пружини 8 регулюється корончастою гайкою 10, яка стопориться шплінтом 9 і одночасно фіксує пружний елемент ресорного типу 6 відносно стакана.

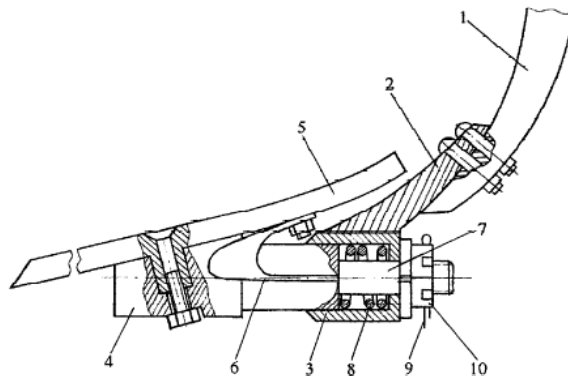


Рис. 2.2. Лапа культиватора: 1 – стійка; 2 – наральник; 3 – стакан; 4 – стрижень; 5 – лапа; 6 – пружний елемент; 7 – задня частина стрижня; 8 – пружина; 9 – шплінт; 10 – корончата гайка.

Робочий орган культиватора працює таким чином.

Під час руху внаслідок неоднорідності будови ґрунту, зміни швидкісного режиму виникають автоколивання культиваторної лапи, що складаються з автоколивачь за ходом руху культиватора та автоколивачь за кутом повороту

культиваторної лапи відносно стрижня. Такі коливання культиваторної лапи покращують подрібнення шару ґрунту та зріз бур'янистої рослинності, сприяють зниженню тягового опору та збільшують діапазон застосування на ґрунтах різної густини та вологості.

2.3 Технологічні розрахунки

2.3.1 Визначення тягового опору культиватора КНК - 4М

Визначаємо тяговий опір культиватора КНК - 4 М під час суцільного обробітку за формулою [10]:

$$P = q \cdot B, \quad (2.1)$$

де q – питомий опір, Н/м;

B – ширина захвату культиватора під час суцільного обробітку, м.

Значення питомого опору q культиватора на 1м ширини захвату з урахуванням опору перекочування наведено в таблиці [10], тобто $q = 2 \text{кН} / \text{м}$

$$P_c = 2 \cdot 4 = 8 \text{кН} .$$

Визначаємо навантаження, що припадає на одну лапу культиватора:

$$F = \frac{P_c}{n}, \quad (3.2)$$

де n – кількість лап культиватора.

$$F = \frac{P_c}{n} = \frac{8}{15} = 0,53 \text{кН}.$$

2.3.2 Визначення кута розчину лез лапи та розміщення робочих органів на культиваторі.

Лапа культиватора діє на ґрунт як клин із кутом α (кут підйому), створюючи в ньому стискальні та зсувні напруження. Кут 2γ між ріжучими лезами лапи в горизонтальній площині називають кутом розчину (рис. 2.3). Від значення γ залежить ступінь підрізання бур'янів.

Для запобігання обволікання леза бур'янами та ґрунтом необхідно, щоб

$$\gamma < 90^\circ - \varphi \quad (2.3)$$

де $\varphi = 26,5^\circ$ – кут тертя бур'яну по лезу лапи.

При $\gamma > 90^\circ - \varphi$ – φ різання відбувається без ковзання.

Визначаємо кут розчину лез лапи за коефіцієнта тертя бур'янів об лезо $f = 0,82$.

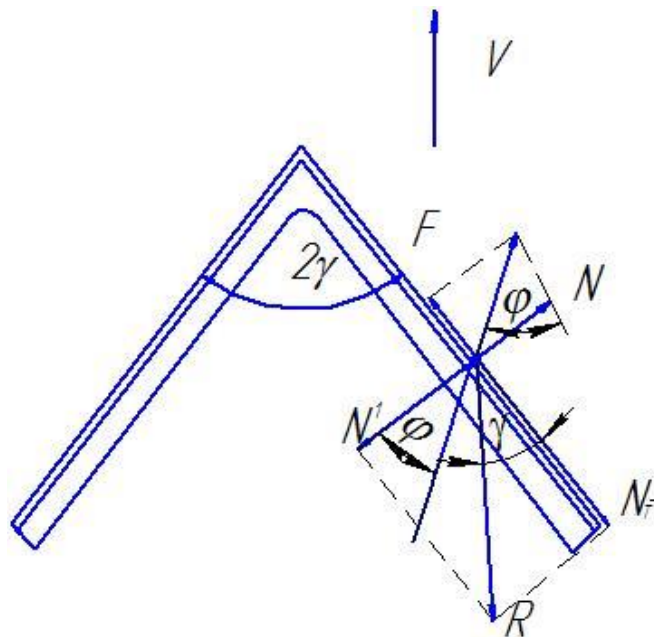


Рис. 2.3. Схема сил, що діють на лапу культиватора.

Як видно з малюнка, отримаємо складову N_T , , спрямовану вздовж леза N_T

= $R\cos\gamma$, і нормальну реакцію $N_T = R\sin\gamma$. Для різання з ковзанням необхідне виконання умови [7]:

$$N_T \leq F,$$

$$\text{де } F = N \cdot \operatorname{tg}\varphi = N \cdot f$$

Підставивши в цю умову значення сил, отримаємо

$$R\cos\gamma > R\sin\gamma \cdot \operatorname{tg}\varphi.$$

$$\text{або } \operatorname{tg}\gamma < \frac{1}{\operatorname{tg}\varphi} = \operatorname{ctg}\varphi = \operatorname{tg}(90 - \varphi).$$

$$\text{тоді } \gamma < 90 - \varphi = 90 - 48,5^\circ = 41,5^\circ.$$

$$\text{Отже, } 2\gamma \leq 83^\circ.$$

За досвідченими даними опір різанню за $\gamma > 90^\circ - \varphi$ збільшується і може відбуватися висмикування та обмотування леза корінням. Аналогічне явище виходить і при збільшенні вологості. Коріння на кінцях леза іноді підрізається не повністю, якщо шлях руху його по лезу виявляється коротким. Для усунення цієї небезпеки лапи культиваторів розставляють у два ряди з деяким перекриттям Δb , значення якого вибирають з умови забезпечення повного підрізання:

$$\Delta b = L \operatorname{tg}\delta \tag{3.4}$$

де L - відстань між передньою і задньою лапами; $\delta = 7...9^\circ$ - кут випадкового відхилення культиваторів від прямої лінії.

Для забезпечення повного підрізання бур'янів і запобігання забиванню лапи встановлюють у два або три ряди. Причому стрілчасті лапи рекомендується розміщувати попереду односторонніх для отримання більш рівномірної глибини обробітку та рівної поверхні. Навантаження, що сприймаються лапами культиватора першого ряду, приблизно в 2 рази більші за

навантаження лап другого ряду. Це пояснюється тим, що лапи першого ряду впливають на ще не деформований ґрунт [2].

Оптимальну відстань між лапами по ходу визначають з виразу:

$$L_0 = \frac{B}{\operatorname{tg} \cdot (90 - (\gamma + \varphi^1))}, \quad (2.5)$$

де φ – кут тертя ґрунту об метал; приймаємо $\varphi=25^\circ$;

2γ – кут розчину леза лапи.

$$L_0 = \frac{4}{\operatorname{tg} \cdot (90 - (35 + 25))} = 550 \text{ мм}$$

Приймаємо $L=550$ мм.

Тоді величина перекриття Δb дорівнюватиме:

$$\Delta b = 550 \cdot \operatorname{tg} 7^\circ = 67 \text{ мм.}$$

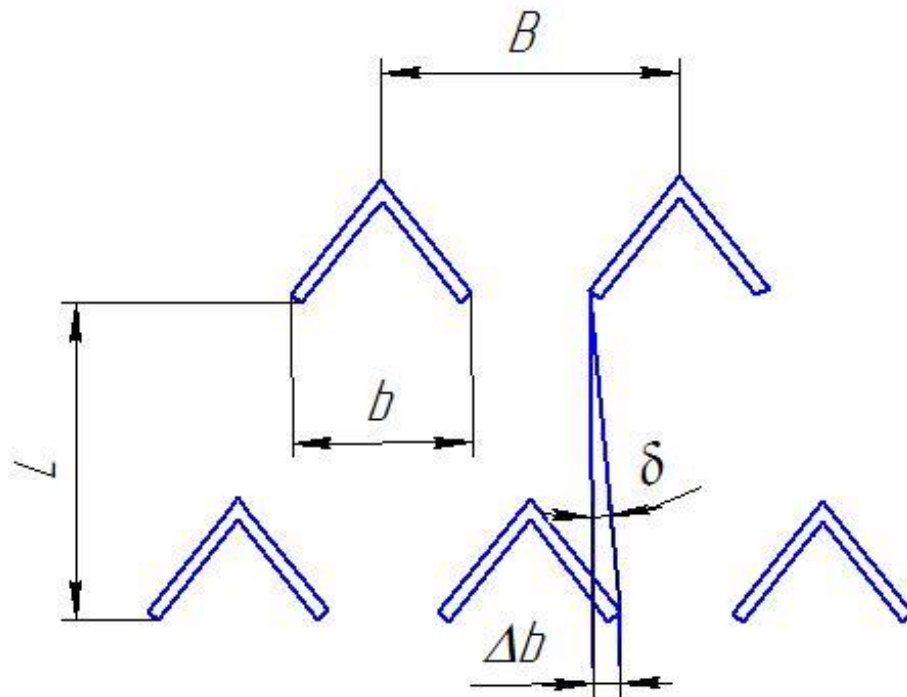


Рис. 2.3. Схема розміщення робочих органів.

Відстань між лапами в ряду визначається за формулою:

$$B = 2b - 2\Delta b,$$

де b – ширина захвату лапи культиватора, $b = 330\text{мм}$.

$$B = 2 \cdot 330 - 2 \cdot 67 = 526\text{мм}.$$

2.4 Розрахунки міцності культиватора

Розрахунок запобіжної натискної пружини

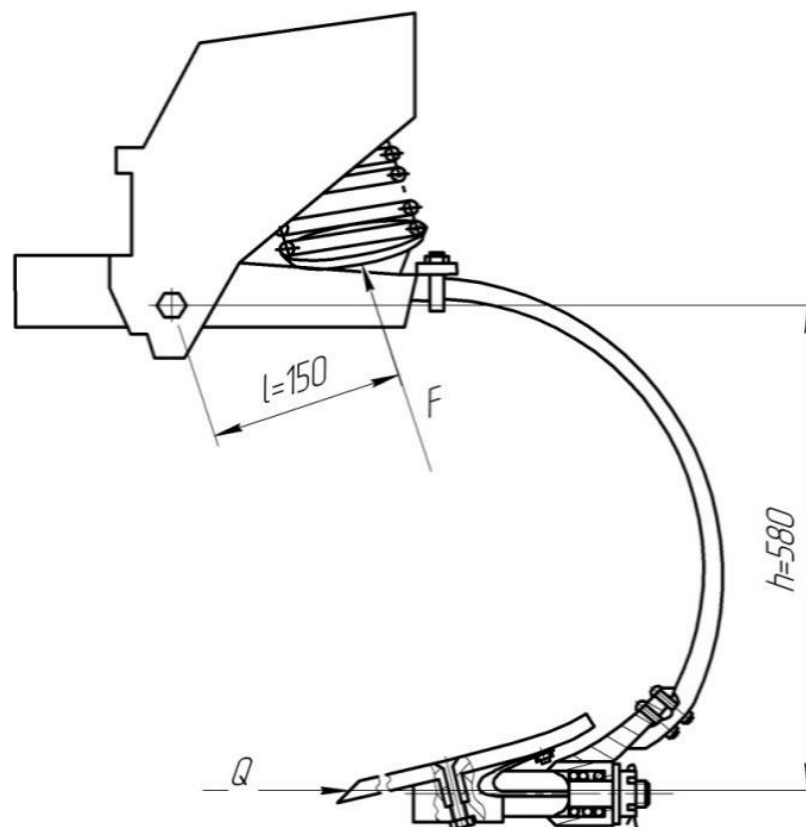


Рис. 2.5. Схема для розрахунку запобіжного пристрою

Визначимо зусилля, за якого лапа культиватора має виглиблюватися з ґрунту [2]:

$$Q = \left(\frac{F_T}{n} \right) \cdot k, \quad (2.6)$$

де F_T – тяговий опір культиватора, $F_T = 8кН$;

n – число робочих органів культиватора;

k – коефіцієнт запасу стійкості ходу робочих органів,

$k = 1,5...2,5$ приймаємо $k = 1,5$ [7].

$$Q = \left(\frac{8}{15} \right) \cdot 1,5 = 0,8кН. \quad (2.7)$$

Визначимо зусилля натягу пружини під час спрацьовування запобіжного пристрою [2]:

$$F = \frac{Qh}{l}, \quad (2.8)$$

де h і l – плечі сил Q і F .

$$F = \frac{0,8 \cdot 0,58}{0,15} = 3,1кН.$$

Умова міцності для циліндричних пружин [5]:

$$\tau = \frac{8kF_3c}{(\pi d^2)} \leq [\tau], \quad (2.9)$$

де τ – розрахункове максимальне напруження в поперечних перерізах витків пружини, МПа;

$[\tau]$ – допустимі напруження для дроту пружини, МПа;

k – коефіцієнт впливу на напруги кривизни витків і поперечної сили;

F – максимальна стискальна сила, Н;

c – індекс пружини.

$$c = \frac{D}{d}, \quad (2.10)$$

де d – діаметр дроту пружини, мм;

D – середній діаметр пружини, мм.

Визначаємо сили при початковій деформації та максимальній деформації

Пружина виготовлена з хромованадієвої сталі 50 ХФА-4А ГОСТ 14959 - 79. Вважаючи, що діаметр дроту пружини дорівнює $d = 11$ мм, прийmemo допустиме напруження для дроту $[\tau] = 610$ МПа, що відповідає рекомендації ДСТУ.

Сила пружини при початковому навантаженні визначаємо за формулою [5]:

$$F_1 = (0,1...0,5) \cdot F_2, \quad (2.11)$$

при максимальній деформації визначаємо за формулою:

$$F_3 = (1,05...1,66) \cdot F_2, \quad (2.12)$$

Припустимо, що $F_1 = 0,3 \cdot F_2$, $F_3 = 1,2 \cdot F_2$, отримуємо:

$$F_1 = 0,3 \cdot 3100 = 930 \text{ Н};$$

$$F_3 = 1,2 \cdot 3100 = 3720 \text{ Н}.$$

Прийmemo індекс пружини $c = 8$ [5]. Коефіцієнт впливу кривизни витків $k = 1,17$ [5].

З умови міцності визначаємо [формула (2.9)] діаметр дроту пружини [5]:

$$d = 1,6 \sqrt{\frac{kcF_3}{[\tau]}} = 1,6 \sqrt{\frac{1,17 \cdot 8 \cdot 3720}{610}} = 11,87 \text{ мм.}$$

Відповідно до ДСТУ остаточно приймаємо $d = 12$ мм.

Перевірка міцності пружини проводиться за формулою :

$$\tau = 8 \cdot 1,17 \cdot 3720 \cdot 8 / (3,14 \cdot 12^2) = 616 \text{ МПа} > [\tau] = 610 \text{ МПа.}$$

Визначаємо середній діаметр пружини D і зовнішній діаметр пружини D_n .

$$D = c - d = 8 - 12 = 88 \text{ мм.}$$

$$D_n = D + d = 88 + 12 = 100 \text{ мм.}$$

Визначаємо жорсткість одного витка пружини [5]:

$$C_1 = 10^4 \cdot d / c^3 = 10^4 \cdot 12 / 8^3 = 234,4 \text{ Н/мм.}$$

Визначаємо жорсткість пружини:

$$C = (F_2 - F_1) / h; \quad (3.13)$$

$$C = (3100 - 930) / 55 = 39,45 \text{ Н/мм.}$$

Визначаємо число робочих витків пружини:

$$n = C_1 / C; \quad (3.14)$$

$$n = 234,4 / 39,45 = 5,94.$$

Приймемо $n = 6$.

Уточнюємо жорсткість пружини і початкове навантаження:

$$C = C_1 / n = 234,4 / 6 = 39 \text{ Н/мм.}$$

$$F_1 = F_2 - C \cdot h = 3100 - 39 \cdot 55 = 955 \text{ Н.}$$

Визначаємо деформації пружин:

Попередню деформацію обчислюємо за формулою:

$$\lambda_1 = F_1 / C = 955 / 39 = 24,5 \text{ мм.}$$

Робочу деформацію обчислюємо за формулою:

$$\lambda_2 = F_2 / C = 3100 / 39 = 79,5 \text{ мм.}$$

Максимальну деформацію обчислюємо за формулою:

$$\lambda_3 = F_3 / C = 3720 / 39 = 95,4 \text{ мм.}$$

Максимальну деформацію одного витка пружини визначаємо за формулою[5]:

$$\lambda' = \lambda_{3,3} / n = 95,4 / 6 = 15,9 \text{ мм.}$$

Визначаємо повне число витків пружини:

$$n_1 = n + n_2 ,$$

де n_2 - число опорних витків ($n_2 = 1,5 \dots 2$), приймаємо $n_2 = 2$.

$$n_1 = 6 + 2 = 8.$$

Визначаємо крок пружини:

$$t = \lambda'_3 + d = 15,9 + 12 = 27,9 \text{ мм.}$$

Визначаємо висоту пружини при максимальній деформації:

$$L_3 = (n_1 + 1 - n_3)d, \quad (2.15)$$

де n_3 - число зашліфованих витків, прийmemo $n_3 = 2$.

$$L_3 = 12 - (8 + 1 - 2) = 84 \text{ мм.}$$

Визначаємо висоту пружини у вільному стані:

$$L_0 = L_3 + \lambda_3 = 84 + 95,4 = 179,4 \text{ мм.}$$

Визначаємо висоту пружини при робочій деформації:

$$L_2 = L_0 - \lambda_2 = 179,4 - 79,5 = 99,9 \text{ мм.}$$

Визначаємо висоту пружини при попередній деформації:

$$L_1 = L_0 - \lambda_1 = 179,4 - 24,5 = 154,9 \text{ мм.}$$

Довжина розгорнутої пружини визначається за формулою:

$$L = 3,2 - D - n_1; \quad (2.16)$$

$$L_0 = 3,2 - 100 - 8 = 2560 \text{ мм.}$$

Визначаємо кут підйому витків:

$$\alpha = \arctg \frac{t}{\pi \cdot D} = \arctg \frac{27,9}{(3,14 \cdot 100)} = \arctg 0,088 = 5^\circ.$$

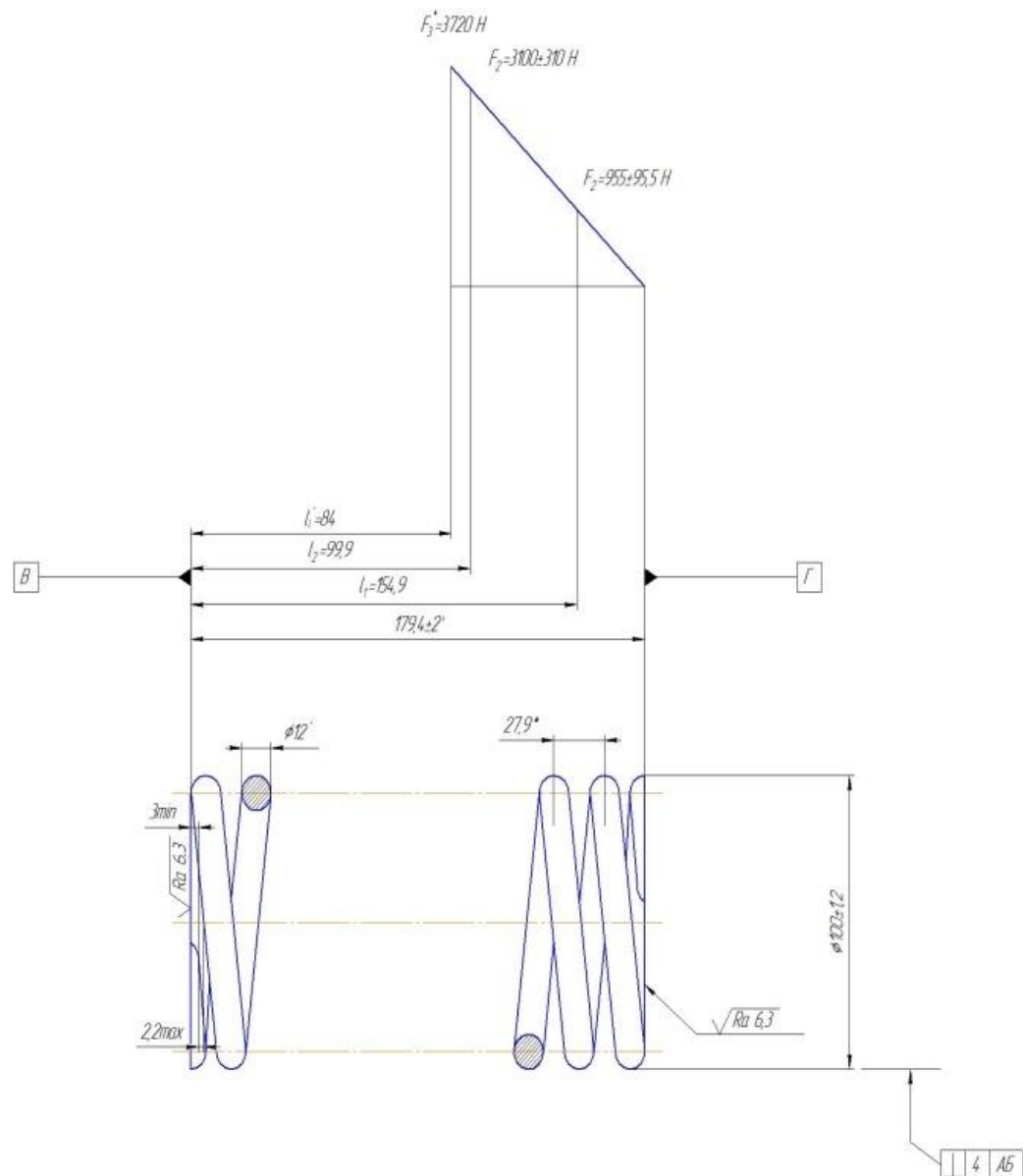


Рис. 2.6. Розрахункова схема отриманої пружини.

Висновки за розділом

Розроблені робочі органи культиватора покращують подрібнення шару ґрунту та зріз бур'янистої рослинності, сприяють зниженню тягового опору та збільшують діапазон застосування культиватора на ґрунтах різної густини та вологості. Визначено тягові опори культиватора та підібрано запобіжні пружини.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ОПЕРАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ КАРТИ

Розрахунок операційно-технологічної карти на поверхневий обробіток виконується відповідно до методики, наведеної в методичних рекомендаціях [1].

Вихідні дані для розрахунку:

1. Приймаємо склад МТА: трактор МТЗ-82 і культиватор КНК - 4М.
2. Діапазон робочих швидкостей, на яких доцільне виконання культивації за агротехнічними вимогами: $V=8\dots 12$ км/год.
3. Площа поля – 140 га.
4. Агрофон поля та кут схилу: вологість – середня, $\alpha = 1^\circ$.
5. Вага трактора $G=35$ кН.
6. Вага культиватора $G_m = 9,5$ кН.
7. Конструктивна ширина захвату культиватора $b_k = 4$ м [5].
8. Питомий опір культиватора за $V_o = 5$ км/год $K_o = 2$ кН/м.

3.1 Обґрунтування машинно-тракторного агрегату та режиму роботи

Спочатку необхідно вибрати всі передачі трактора, які відповідають діапазону швидкостей 8...12 км/год. Потім для кожної з передач обираються значення тягових показників, які наведено в таблиці 3.1.

Як відомо з дослідних даних, питомий опір K_o культиваторів за швидкості їхнього руху $V_o = 5$ км/год становить 2 кН/м, тому питомий опір для кожної обраної передачі з урахуванням їхньої робочої швидкості знаходиться за формулою [15]:

$$K_{oi} = K_o \left[1 + (V_{pi} - V_o) \frac{C}{100} \right] \quad (3.1)$$

Таблиця 3.1 – Тягові показники трактора МТЗ-82 за швидкості руху 8..12 км/год

Агрофон	Поле, підготовлене під посів		
	Передача		
Параметр	5	6	7
$N_{кр.мах}$, кВт	33,4	33,7	33,9
$P_{кр.н}$, кН	13,6	12,4	10,6
$V_{р.н}$, км/год	8,86	10,3	11,6
$G_{т.н}$, кг/год	14,5	14,1	13,6

де K_{0i} – питомий опір для обраної передачі, кН/м; V_0 – робоча швидкість агрегату для обраної передачі, км/год; C – темп наростання питомого опору, %, $C = 5\%$.

Тоді, підставивши відповідні значення, отримаємо:

$$K_5 = 2 \cdot \left[1 + (8,85 - 5) \cdot \frac{5}{100} \right] = 2,39 \text{ кН / м}$$

$$K_6 = 2 \cdot \left[1 + (10,2 - 5) \cdot \frac{5}{100} \right] = 2,52 \text{ кН / м}$$

$$K_7 = 2 \cdot \left[1 + (11,5 - 5) \cdot \frac{5}{100} \right] = 2,65 \text{ кН / м}$$

Максимальна ширина захвату агрегату B_{Maxi} визначається з виразу:

$$B_{max i} = \frac{P_{kpi} - R_{cy}}{K_{0i} + q_m \sin \alpha} \quad (3.2)$$

де P_{kpi} – сила тяги трактора в умовах, що розглядаються, кН; $R_{сц}$ – опір зчеплення, кН, $R_{сц} = 0$; q_m – вага машини, що припадає на 1 м ширини захвату сівалки, м; α - кут схилу оброблюваної поверхні, град., $\alpha = 1^\circ$.

Сила тяги трактора обчислюється як [6]:

$$P_{kpi} = P_{kpi} - G \sin \alpha \quad (3.3)$$

де P_{kpi} – номінальна сила тяги трактора на гаку, кН; G – вага трактора, кН.

Значення сили тяги на різних передачах будуть рівними:

$$P_{кр. 5.} = 13,5 - 35 \cdot \sin 1^\circ = 12,9 \text{ кН};$$

$$P_{кр. 6.} = 12,3 - 35 \cdot \sin 1^\circ = 11,7 \text{ кН};$$

$$P_{кр. 7.} = 10,5 - 35 \cdot \sin 1^\circ = 9,9 \text{ кН}.$$

Вага, що припадає на 1 м ширини захвату культиватора:

$$q_m = G_m / b_k, \quad (3.4)$$

де G_m – вага культиватора, кН; b_k - конструктивна ширина захвату культиватора, м, $b_k = 4$ м.

$$q_m = 9,5 / 4 = 2,4 \text{ кН/м}.$$

Отже, максимальна ширина захвату агрегату становитиме:

$$B_{\max 5} = \frac{12,9 - 0}{2,39 + 2,4 \sin 1} = 5,1 \text{ М};$$

$$B_{\max 6} = \frac{11,7 - 0}{2,52 + 2,4 \sin 1} = 4,4 \text{ М};$$

$$B_{\max 7} = \frac{9,9 - 0}{2,65 + 2,4 \sin 1} = 3,6 \text{ М}.$$

Кількість машин в агрегаті $n_{\text{схм}i}$ визначається за формулою [7]:

$$n_{\text{схм}i} = B_{\max i} / b_k. \quad (3.5)$$

Отже:

$$n_{\text{схм}5} = 5,1 / 4 = 1,3;$$

$$n_{\text{схм}6} = 4,4 / 4 = 1,1;$$

$$n_{\text{схм}7} = 3,6 / 4 = 0,9.$$

Округляємо кількість машин в агрегаті до найближчого цілого числа.

Дійсний опір R_{ai} розраховують із виразу:

$$R_{ai} = K_{0i} \cdot b_k \cdot n_{\text{схм}i} + G_m \cdot n_{\text{схм}i} \cdot \sin \alpha + R_{ci} \quad (3.6)$$

Числові значення дійсного опору становитимуть:

$$R_{a5} = 2,39 - 4 - 1 + 9,5 - 1 - \sin 1^\circ = 9,73 \text{ кН/м};$$

$$R_{a6} = 2,52 - 4 - 1 + 9,5 - 1 - \sin 1^\circ = 10,25 \text{ кН/м};$$

$$R_{a7} = 2,65 - 4 - 1 + 9,5 - 1 - \sin 1^\circ = 10,77 \text{ кН/м}.$$

Коефіцієнт використання сили тяги ξ_i знаходиться зі співвідношення:

$$\xi_i = \frac{R_{a.i}}{P_{кр.i}} \quad (4.7)$$

Підставляючи в останній вираз відповідні числові значення, отримаємо:

$$\xi_5 = \frac{10,77}{12,9} = 0,83;$$

$$\xi_6 = \frac{10,25}{11,7} = 0,88;$$

$$\xi_7 = \frac{10,77}{9,9} = 1,09.$$

Через застосування нових лап культиватора зменшиться опір оброблюваної поверхні поля на 15 -20 %, внаслідок чого загальний тяговий опір культиватора зменшиться на 15 %.

Тоді:

$$\xi_{7M} = \frac{10,77 \cdot 0,85}{9,9} = 0,925.$$

З урахуванням того, що ξ_i не має перевищувати 0,93 і має бути максимальним, приймаємо 7-му робочу передачу трактора і швидкість агрегату 11,5 км/год.

3.2 Розрахунок кінематичної характеристики агрегату та ділянки

Поле має бути очищене від каміння, соломи та інших рослинних залишків. Стерню соняшнику, кукурудзи, ріпаци та інших високостеблових культур рекомендується подрібнювати.

Далі встановлюється напрямок обробітку ґрунту, вибирається спосіб руху, відбиваються поворотні смуги, розбивається поле на загони, відорюються поворотні смуги.

Для агрегату МТЗ-80 + КНК-4М обираємо спосіб руху з перекриттям і представляємо схему руху МТА обраним способом (рис. 3.1) [5].

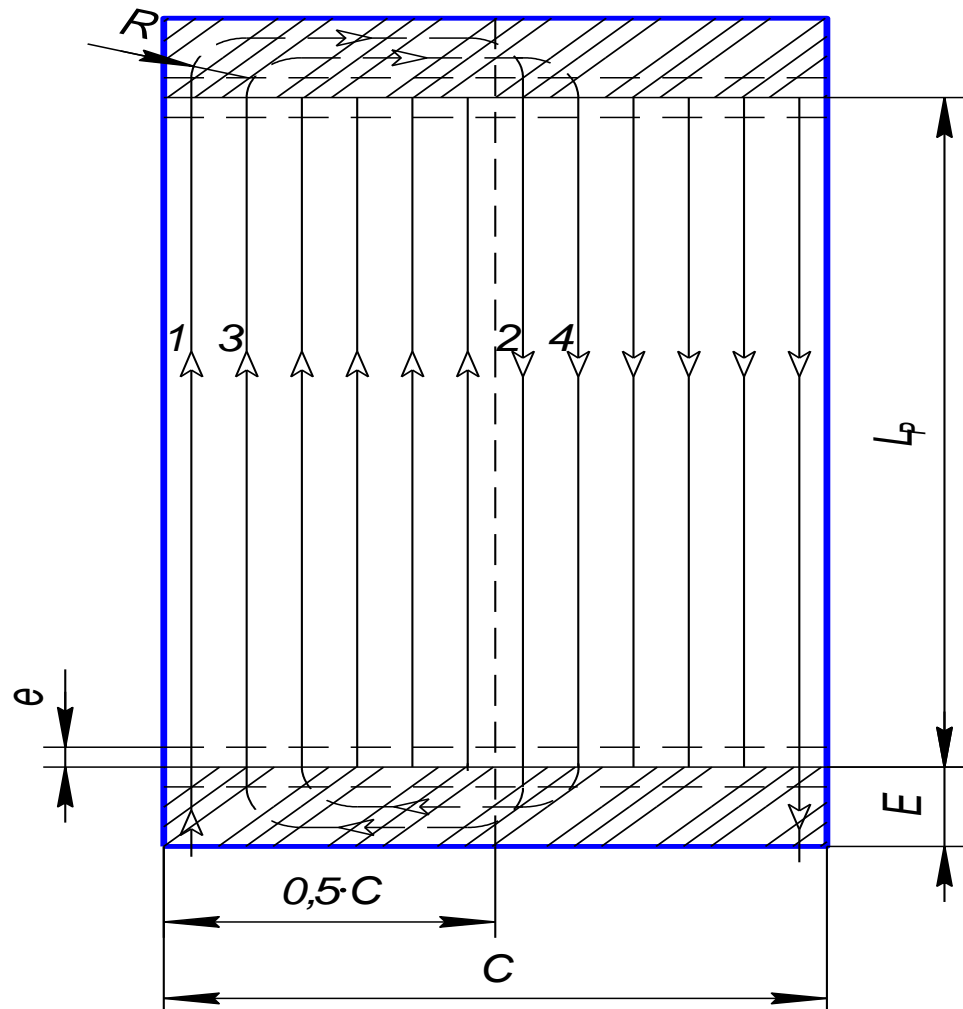


Рис. 3.1. Спосіб руху агрегату "з перекриттям": L_p – робоча довжина ходу; E – ширина поворотної смуги; e – довжина вільного виїзду культиватора; C – ширина поля; R – найменший допустимий радіус повороту.

Кінематична довжина агрегату L_k визначається за формулою [5]:

$$L_k = L_m + L_M + L_c, \quad (3.8)$$

де L_m – кінематична довжина трактора, м; L_M – кінематична довжина культиватора, м; L_c – кінематична довжина зчіпки, м $L_m = 1,3$ м, $L_M = 2,3$ м.

Отже:

$$L_k = 1,3 + 2,3 = 3,6 \text{ м.}$$

Довжина вільного виїзду культиватора e становитиме:

$$e = 0,5 \cdot L_k, \quad (4.9)$$

Підставивши відповідні числові значення, отримаємо:

$$e = 0,5 \cdot 3,6 = 1,8 \text{ м.}$$

Найменший допустимий радіус повороту R визначають як:

$$R = 0,9 \cdot B_p, \quad (3.10)$$

де B_p – робоча ширина захвату культиватора, м;

k – коефіцієнт, що враховує швидкість руху, $k = 1,32$. Тоді:

$$B_p = b_k - n_{схм} - \beta \quad (3.11)$$

де β – коефіцієнт використання конструктивної ширини захвату, $\beta = 0,96$.

$$B_p = 4 - 0,96 = 3,84 \text{ м.}$$

$$R = 0,9 - 3,84 = 3,46 \text{ м}$$

Представляємо схему агрегату із зазначенням усіх кінематичних параметрів (рис. 3.2)

Розраховуємо кінематичні параметри робочої ділянки:

Розрахункова ширина поворотної смуги для безпетльових поворотів E_p знаходиться за виразом [7]:

$$E_p = 1,5 - R + e. \quad (3.12)$$

$$E_p = 1,5 - 3,46 + 1,8 = 7 \text{ м.}$$

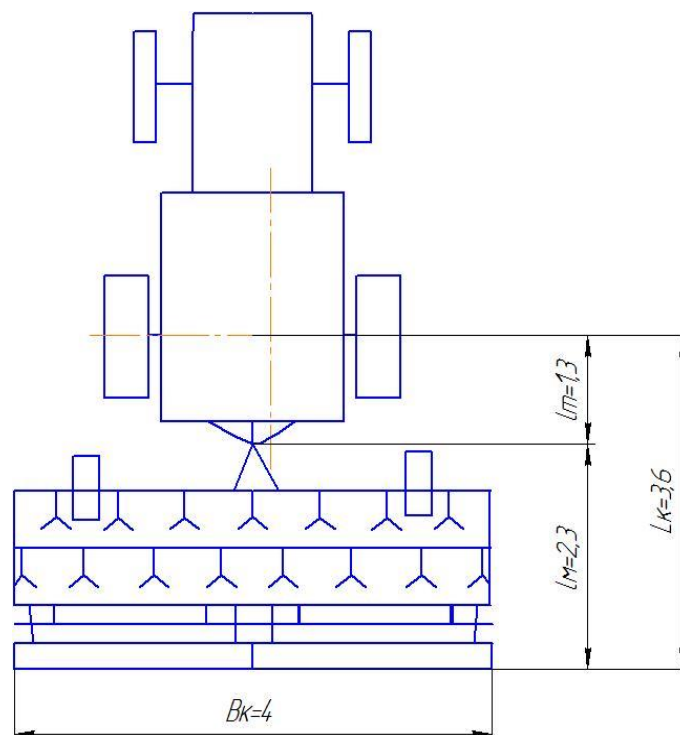


Рис. 3.2. Основні кінематичні характеристики агрегату: B_p – робоча ширина захвату культиватора; L_m – кінематична довжина трактора; L_M – кінематична довжина культиватора; L_K – кінематична довжина агрегату.

Слід зазначити, що прийнята ширина поворотної смуги E має бути кратна ширині захвату, тобто:

$$E = B_p \cdot n \quad (3.13)$$

де n - показник кратності, $n = E_p / B_p$.

$$n = 7/3,84 = 1,83.$$

Показник кратності n округлюється в більший бік до цілого значення, тому приймаємо $n = 2$. Тоді величина ширини поворотної смуги E дорівнюватиме:

$$E = 3,84 \cdot 2 = 7,68 \text{ м.}$$

Робочу довжину гона L_p можна знайти за формулою [5]:

$$L_p = L - 2 \cdot E \quad (3.14)$$

Якщо підставити відповідні числові значення, отримаємо:

$$L_p = 1000 - 2 \cdot 7,68 = 984,64 \text{ м.}$$

Розраховуємо довжину повороту:

$$L_x = 0,5 \cdot C_p + 1,14 \cdot R_0 + 2 \cdot e \quad (3.15)$$

$$C_p = 5 \cdot R_0 = 5 \cdot 3,46 = 17,3 \text{ м.}$$

$$L_x = 0,5 \cdot 17,3 + 1,14 \cdot 3,46 + 2 \cdot 1,8 = 16,2 \text{ м.}$$

Визначаємо число робочих ходів агрегату в загоні:

$$n_p = \frac{C_p}{B_p} = \frac{17,3}{3,84} = 4,5. \quad (3.16)$$

Округляємо і приймаємо число робочих ходів посівного агрегату в більший бік, тоді $n_p = 5$.

Число холостих поворотів n_x приймають рівним числу робочих ходів, тобто $n_x = 5$.

Коефіцієнт використання робочих ходів φ_{px} дорівнює [5]:

$$\varphi_{px} = \frac{L_p}{L_p + L_x}, \quad (3.17)$$

$$\varphi_{px} = \frac{984,64}{984,64 + 16,2} = 0,98.$$

Результати розрахунку показують, що для агрегату МТЗ-82 + КНК-4М за вказаної довжини гону спосіб руху з перекриттям доцільний.

3.3 Розрахунок продуктивності МТА

Для розрахунку продуктивності культиваторного агрегату необхідно визначити коефіцієнт використання часу зміни τ , який дорівнює [5]:

$$\tau = T_p / T_{cm} \quad (3.20)$$

де T_{cm} – час зміни, год., $T_{cm} = 10$ год.; T_p – час роботи агрегату за зміну, год.

Час роботи агрегату за зміну T_p знаходиться за виразом:

$$T_p = \frac{T_{cm} - (T_{обсл} + T_{пз} + T_{лн})}{1 + K_{всп}}, \quad (4.21)$$

де $T_{обсл}$ – час організаційно-технічного обслуговування агрегату в загороді (час на очищення робочих органів, перевірку якості роботи, технологічні регулювання, технічне обслуговування сівалки в загороді, завантаження сівалок насінням і добривами), год.; $T_{пз}$ – підготовчо-заключний час, год.; $T_{лн}$ – час на відпочинок та особисті потреби тракториста, год.; $K_{всп}$ – коефіцієнт допоміжної роботи.

Час організаційно-технічного обслуговування агрегату в загоні $T_{обсл}$ визначається за формулою:

$$T_{обсл} = T_{cm} \cdot t_0, \quad (3.22)$$

де t_0 - тривалість зупинок за 1 годину зміни, год., $t_0 = 0,1$ год.

$$T_{обсл} = 10 \cdot 0,1 = 1 \text{ год.}$$

$T_{пз}$ – підготовчо-заключний час, $T_{пз} = 0,14 \dots 0,3$ год.

$T_{лн}$ – час на відпочинок та особисті потреби тракториста.

$$T_{лн} = (0,03 \dots 0,05) \cdot T_{cm} \quad (3.23)$$

$$T_{лн} = 0,04 \cdot 10 = 0,4 \text{ год.}$$

Коефіцієнт допоміжної роботи $K_{всп}$ знаходиться як:

$$K_{всп} = K_{пов} + K_{п}, \quad (3.24)$$

де $K_{пов}$ – коефіцієнт холостих поворотів; $K_{п}$ – коефіцієнт внутрішньозмінних переїздів.

Коефіцієнт неodrужених поворотів $K_{пов}$ обчислюється за формулою:

$$K_{нов} = \frac{t_{нов} \cdot V_p}{3,6 \cdot L_p} \quad (3.25)$$

де $t_{нов}$ – час одного повороту за секунду, год:

$$t_{нов} = \frac{L_x}{V_x} \quad (3.26)$$

де V_x - швидкість агрегату на холостих поворотах, $V_x = 6$ км/год.

$$t_{нов} = \frac{0,017}{6} = 0,003.$$

$$K_{нов} = \frac{0,003 \cdot 11,5}{3,6 \cdot 0,985} = 0,01.$$

Коефіцієнт внутрішньозмінних переїздів K_n дорівнює [4]:

$$K_n = \left(T_{nn} + \frac{L_n}{V_{mp}} \right) \left(\frac{W_{год}}{F_{cp}} \right), \quad (3.27)$$

де T_{nn} – час, що витрачається на підготовку агрегату до переїзду і до роботи після переїзду, приймаємо $T_{nn} = 0,05$ год; L_n – відстань одного переїзду, км, $L_n = 1,5$ км; V_{mp} - транспортна швидкість МТА, $V_{mp} = 14$ км/год; F_{cp} – середня площа поля, га $F_{cp} = 140$ га; $W_{год}$ - чиста годинна продуктивність МТА, га/год.

Визначаємо чисту годинну продуктивність:

$$W_{год} = 0,1 - B_p - V_p \quad (3.28)$$

$$W_{год} = 0,1 - 3,84 - 11,5 = 4,42 \text{ га/год.}$$

$$K_n = \left(0,05 + \frac{1,5}{14}\right) \cdot \left(\frac{4,42}{140}\right) = 0,005.$$

$$K_{всн} = 0,001 + 0,005 = 0,015.$$

$$T_p = \frac{10 - (1 + 0,2 + 0,4)}{1 + 0,015} = 8,27 \text{ год.}$$

$$\tau = \frac{8,3}{10} = 0,827.$$

Продуктивність агрегату за одну годину робочого часу розрахуємо за виразом:

$$W_{год} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot \tau, \quad (3.29)$$

де $W_{год}$ – продуктивність агрегату за одну годину часу зміни, га/год;

B_p – робоча ширина захвату агрегату, м; V_p – робоча швидкість руху агрегату, км/год; τ - коефіцієнт використання часу зміни.

Коефіцієнт використання зміни τ дорівнюватиме:

$$\tau = 8,27/10 = 0,827.$$

Продуктивність агрегату за зміну знайдемо за формулою:

$$W_{зм} = W \cdot T_{зм}, \quad (3.30)$$

де $W_{зм}$ - змінна продуктивність агрегату, га/см; $T_{см}$ - нормативний час зміни, $T_{зм} = 10 \text{ год}$.

$$W_{год} = 0,1 \cdot 3,84 \cdot 11,5 \cdot 0,827 = 3,65 \text{ га/год.}$$

$$W_{зм} = 3,65 \cdot 10 = 36,5 \text{ га/зм.}$$

Витрата палива на одиницю виконаної роботи q_e знаходиться за виразом:

$$q_e = \frac{G_m T_p + G_x T_x + G_o T_o}{W_{зм}}, \quad (3.31)$$

де G_p – годинна витрата палива на основній роботі, $G_p = 8,9$ кг/год; G_x - годинна витрата палива на неодружених поворотах, заїздах і переїздах, $G_x = 4,23$ кг/год; G_o – годинна витрата палива на зупинках, $G_o = 2,115$ кг/год; T , T_{x0} – час неодружених поворотів і переїздів, технологічних зупинок, год.

$$T = T_{x0} = (T_{см} - T_p) / 2 = (10 - 8,3) / 2 = 0,85 \text{ год} \quad (3.32)$$

$$q_e = \frac{8,9 \cdot 8,3 + 4,23 \cdot 0,85 + 2,115 \cdot 0,85}{36,5} = 2,17 \text{ кг/га.}$$

Висновки по розділу

За допомогою проведених розрахунків обґрунтовано: оптимальну робочу швидкість агрегату, що дорівнює 11,5 км/год, основні кінематичні показники культиваторного агрегату та ділянки поля, а також змінну продуктивність агрегату – 36,5 га/год і витрату палива на одиницю виконаних робіт – 2,17 кг/га.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Кожна операція поверхневого обробітку ґрунту має свої специфічні характеристики та застосовується в залежності від типу ґрунту, кліматичних умов і агротехнічних вимог. Боронування є швидким та економічним методом для поверхневого розпушування ґрунту, культивація забезпечує глибше обробіток та поліпшення структури ґрунту, а дискування ефективно перемішує рослинні залишки та зменшує ерозійні процеси. Вибір відповідного методу залежить від конкретних умов та цілей агротехнічних заходів.

Розроблені в кваліфікаційній роботі робочі органи культиватора покращують подрібнення шару ґрунту та зріз бур'янистої рослинності, сприяють зниженню тягового опору та збільшують діапазон застосування культиватора на ґрунтах різної густини та вологості. Визначено тягові опори культиватора та підібрано запобіжні пружини.

За допомогою проведених розрахунків обґрунтовано: оптимальну робочу швидкість агрегату, що дорівнює 11,5 км/год, основні кінематичні показники культиваторного агрегату та ділянки поля, а також змінну продуктивність агрегату – 36,5 га/год і витрату палива на одиницю виконаних робіт – 2,17 кг/га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Іванов П. П. Сучасні методи обробітку ґрунту: теорія та практика. Київ: АгроПрес, 2020.
2. Петрова О. О. Інновації в сільському господарстві: перспективи та виклики. Харків: Земля, 2019.
3. Сидоренко І. В. Технології поверхневого обробітку ґрунту: наукові основи та практичні аспекти. Львів: Аграрна наука, 2021.
4. Карпенко М. М. Екологічні аспекти обробітку ґрунту. - Одеса: ЕкоАгро, 2018.
5. Гарькавий А.Д., Холодюк О.В., Григоришен В.М. Експлуатація машин та обладнання в рослинництві. Методичні вказівки по виконанню лабораторних робіт з дисципліни "Експлуатація машин та обладнання в рослинництві". Модуль IV. Вінниця: Вінницький ДАУ, 2009. 60 с.
6. Оляднічук Р.В., Мелентьєв О.Б. Експлуатація машин і обладнання. Умань: Уманський національний університет садівництва (УНУС), 2020. 118 с.
7. Шабрацький В.І. Експлуатація і обслуговування механізмів і машин. Рубіжне: ІХТ СНУ ім. Володимира Даля, 2010. 243 с.
8. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. техн. наук: 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.
9. Борак К. В. Наукові основи досягнення ефекту самозагострювання робочих органів ґрунтообробних машин. Сільськогосподарські машини. 2020. № 1. С. 18 – 40.
10. Довбуш Т, А., Хомик Н.І., Довбуш А.Д. Методи проектування сільськогосподарських машин. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулю, ФОП Паляниця В. А., 2019. 72 с.

11. Мазнев Г.Є. Проектування технологій та розрахунок витрат на вирощування сільськогосподарських культур. Харків: «Майдан», 2009. 257 с.
12. Цизь І.Є. Конструкція, розрахунок і виробництво сільськогосподарських машин. Луцьк: Луцький НТУ, 2015. 66 с.
13. Кобець А.С., Кобець О.М., Пугач А.М. Теорія і розрахунок сільськогосподарських машин. Дніпропетровськ: Дніпровський державний аграрно-економічний університет; Свідлер А.Л., 2011. 164 с.
14. Goyal M.R., Verma D.K. Engineering Interventions in Agricultural Processing. Apple Academic Press, 2018. 377 p.
15. Kutz M. Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering. 3rd Edition. Academic Press, 2019. 779 p.