

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний

Кафедра агроінжинірингу

Ступінь вищої освіти «Бакалавр»

Спеціальність 208 Агроінженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

агроінжинірингу

_____ Шуляк М.Л.

“10” вересня 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

ДОВЖЕНКУ МИХАЙЛУ ІВАНОВИЧУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення використання техніки при вирощуванні ярої пшениці застосуванням модернізованого культиватора-щілиноріза в умовах фермерського господарства

керівник роботи: ст. викладач Сировицький К.Г.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “23” 12 2024 року № 4221/ос

2. Строк подання здобувачем роботи: “01” ___06___ 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи: 1. Нормативно-технічна документація по розробці механізованих технологічних процесів у рослинництві. 2. Науково-технічна література. 3. Літературні джерела інформації та Інтернет ресурси _____

4. Методичні рекомендації до виконання проекту (роботи)

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
Вступ. 1. Аналіз господарської діяльності фермерського господарства 2. Технологічна частина. 3. Удосконалення конструкції культиватора-щілиноріза та обґрунтування параметрів. 4. Охорона праці. 5. Економічна частина. Загальні висновки. Список літературних джерел.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 1. Технологічна карта вирощування ярої пшениці (A1). 2. Операційна карта на безвідвальний основний обробіток ґрунту (A1). 3. Культиватор причіпний (креслення загального виду) (A1). 4. Схема функціональна (A2). 5. Збірне креслення та деталювання (1.5 A1)

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці			
Економічна частина			

7. Дата видачі завдання: “ ___ ” _____ 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Погоджено з керівником кваліфікаційної роботи
1.	Обрання теми	04.09.2024-10.09.2024	
2.	Збір інформації про діяльність господарства	11.09.2024-30.09.2024	
3.	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	02.10.2024-02.12.2024	
4.	Складання плану роботи	04.12.2024-09.12.2024	
5.	Написання вступу	11.12.2024-18.12.2024	
6.	Підготовка розділу «Аналіз господарської діяльності фермерського господарства»	19.12.2024-09.01.2025	
7.	Підготовка розділів «Технологічна частина»,	10.01.2025-21.02.2025	
8.	Підготовка розділу «Удосконалення конструкції культиватора-щілиноріза та обґрунтування параметрів»	22.02.2025-10.04.2025	
9.	Підготовка розділу «Охорона праці»	11.04.2025-17.04.2025	
10.	Підготовка розділу «Економічна оцінка проекту»	18.04.2025-30.04.2025	
11.	Написання загальних висновків	01.05.2025-09.05.2025	
12.	Подання роботи на перевірку унікальності	до 10.05.2025	
13.	Подання роботи до експертної ради факультету	до 13.05.2025	
14.	Подання роботи на рецензування	до 20.05.2025	
15.	Подання до попереднього захисту	до 27.05.2025	

Здобувач вищої освіти _____ **Михайло ДОВЖЕНКО**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ **Кирило СИРОВИЦЬКИЙ**
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Довженко М.І. Удосконалення використання техніки при вирощуванні ярої пшениці застосуванням модернізованого культиватора-щілиноріза в умовах фермерського господарства. Кваліфікаційна (бакалаврська) робота на здобуття ступеня бакалавра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – СНАУ. - Суми.- 2025, 60 с.

Кваліфікаційна (бакалаврська) робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 29 найменування та додатків. Загальний обсяг роботи становить 60 сторінок, на яких представлено 6 таблиць, 7 рисунків, 2 додатки та 5 аркушів графічної частини формату А1.

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання удосконалення технологічного процесу вирощування ярої пшениці шляхом впровадження модернізованого культиватора-щілиноріза в умовах фермерського господарства. Мета дослідження — підвищення ефективності основного обробітку ґрунту, зменшення витрат ресурсів та покращення агроекологічного стану ґрунтів шляхом впровадження нових технічних рішень.

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми збереження природної родючості ґрунтів, необхідність зменшення впливу вітрової та водної ерозії, а також важливість застосування технологій безвідвального обробітку ґрунту.

У першому розділі проведено аналіз господарської діяльності конкретного фермерського господарства, його ресурсного забезпечення, рівня механізації та сучасного стану ґрунтообробної техніки.

У другому розділі представлено технологічний процес вирощування ярої пшениці з акцентом на основний обробіток ґрунту. Здійснено розрахунки трудових, енергетичних та паливних витрат при застосуванні різних ґрунтообробних агрегатів.

У третьому розділі запропоновано конструктивне удосконалення комбінованого культиватора шляхом оснащення його щілинорізами з оригінальною формою робочої поверхні. Проведено інженерні розрахунки, обґрунтовано геометричні параметри робочих органів та наведено схеми

конструкції. Встановлено, що використання модернізованого агрегату дозволяє зменшити витрати пального на 1,44 центнера на 100 га, знизити трудові витрати на 101,3 людино-години та підвищити продуктивність праці на 10,5 га/зм.

Четвертий та п'ятий розділи присвячені питанням охорони праці та економічної доцільності.

У загальних висновках зазначено, що удосконалення конструкції культиватора та його ефективне використання сприяє підвищенню якості обробітку ґрунту, зниженню виробничих витрат і поліпшенню екологічного стану сільськогосподарських угідь.

До роботи додається комплект графічних матеріалів: технологічна карта, операційна карта, загальний вигляд культиватора, функціональна схема, збірне креслення та деталювання.

Ключові слова: яра пшениця, безвідвальний обробіток, культиватор-щілиноріз, фермерське господарство, конструктивне удосконалення

ABSTRACT

Dovzhenko M.I. *Improvement of Machinery Utilization in Spring Wheat Cultivation through the Use of a Modernized Chisel-Type Cultivator under the Conditions of a Farming Enterprise.* Bachelor's Qualification Thesis submitted for the degree of Bachelor in Specialty 208 Agricultural Engineering. – SNAU. – Sumy. – 2025, 60 pages.

The Bachelor's qualification thesis consists of an introduction, five chapters, general conclusions, a list of 29 references, and appendices. The total volume of the work is 60 pages, which includes 6 tables, 7 figures, 2 appendices, and 5 sheets of graphic material in A1 format.

The bachelor's qualification thesis is dedicated to improving the cultivation process of spring wheat by implementing a modernized chisel-type cultivator under the conditions of a private farming enterprise. The objective of the study is to increase the efficiency of primary tillage, reduce resource consumption, and improve the agro-ecological state of soils by introducing innovative technical solutions.

The introduction justifies the urgency of preserving natural soil fertility, the necessity of reducing the impact of wind and water erosion, and the relevance of applying no-till and minimal tillage technologies.

The first section analyzes the operational activities of a selected farming enterprise, evaluating its resource base, level of mechanization, and the current state of soil-tillage equipment.

The second section outlines the technological process of spring wheat cultivation with a focus on primary soil tillage. Calculations of labor, energy, and fuel costs for different tillage equipment combinations are presented.

The third section presents the proposed modernization of a combined cultivator through the addition of chisel-type working elements with an original working surface profile. Engineering calculations were carried out to determine optimal design parameters. Technical drawings and structural schemes were developed. It was found that using the improved implement reduces fuel consumption by 1.44 centners per 100 hectares, decreases labor input by 101.3 man-hours, and increases labor productivity by 10.5 hectares per shift.

The fourth and fifth chapters are dedicated to occupational safety and economic feasibility.

General conclusions highlight that the improvement of cultivator design and its implementation significantly contributes to enhanced tillage quality, reduced production costs, and improved environmental sustainability in agricultural production.

The thesis is accompanied by a set of graphic materials: a technological chart of spring wheat cultivation, an operational chart for no-till tillage, a general view drawing of the cultivator, a functional scheme, and an assembly drawing with detailed views.

Keywords: spring wheat, no-till tillage, chisel cultivator, farming enterprise, structural improvement

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Аналіз господарської діяльності фермерського господарства.....	9
1.1 Загальна характеристика фермерського господарства.....	9
1.2 Аналіз матеріально-технічної бази господарства.....	9
1.3 Аналіз продуктивності та економічних показників господарства..	10
1.4 Проблеми та шляхи їх вирішення.....	11
2 Технологічна частина.....	13
2.1 Аналіз типових технологій вирощування пшениці ярої з встановленням шляхів її удосконалення.....	13
2.2 Розрахунок основних показників роботи сільськогосподарського агрегату для основного безвідвального обробітку ґрунту.....	19
2.3 Підготовка поля до роботи.....	24
2.4 Розробка операційної технологічної карти на процес основного безполицевого обробітку ґрунту.....	27
2.5 Контроль основних показників якості виконання безполицевого обробітку ґрунту.....	29
3 Удосконалення конструкції культиватора-щілиноріза та обґрунтування параметрів.....	32
3.1 Обладнання та принцип дії культиватора.....	32
3.2 Обґрунтування конструктивних змін, що вноситься в культиватор	35
3.3 Технологічні розрахунки.....	37
3.4 Кінематичні та силові розрахунки.....	42
3.5 Енергетичний розрахунок.....	44
3.6 Розрахунок на міцність.....	45
4 Охорона праці.....	48
4.1 Особливості умов праці при вирощуванні ярої пшениці.	48
4.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які можуть виникнути під час експлуатації культиватора.....	50
4.3 Розробка заходів по покращенню умов праці.....	51

5 Економічна оцінка проекту.....	52
5.1 Мета економічного аналізу.....	52
5.2 Розрахунок економічного ефекту.....	52
5.3 Окупність удосконалення конструкції культиватора-щілиноріза..	53
Загальний висновок.....	55
Список літературних джерел.....	57
Додатки	

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку аграрного сектору України особливої актуальності набуває питання підвищення ефективності технологій вирощування сільськогосподарських культур, зокрема зернових, що є основою продовольчої безпеки держави. Вирощування ярої пшениці як важливої продовольчої культури потребує раціонального використання технічних засобів і ресурсозберігаючих технологій, здатних забезпечити високу врожайність за умов мінімального негативного впливу на ґрунтове середовище.

Однією з головних проблем у землеробстві залишається погіршення родючості ґрунтів через інтенсивну механічну дію, що супроводжується розвитком вітрової й водної ерозії, переущільненням підорного горизонту та зниженням вмісту органічної речовини. З метою зменшення цих негативних наслідків, в аграрній практиці дедалі ширше впроваджуються технології безвідвального обробітку ґрунту, які передбачають мінімізацію механічного втручання при збереженні оптимального агрегатного стану ґрунту.

Збереження та відтворення природної родючості ґрунтів є ключовим завданням для виробників сільськогосподарської продукції в сучасному світі, а для України ця проблема набуває особливої гостроти. Одним із дієвих шляхів захисту ґрунтів від деградації їхньої структури, вітрової та водної ерозії є широке впровадження технологій безвідвального обробітку. Проте, реалізація цих прогресивних підходів часто стримується недостатньою якістю виконання ґрунтообробних процесів традиційними знаряддями. Цей фактор зумовлює необхідність додаткових проходів по полю простих агрегатів, призначених для доведення агрегатного стану ґрунтів до рівня, передбаченого агротехнічними вимогами. Така практика, своєю чергою, призводить до значних додаткових витрат енергії, людської праці та не сприяє захисту ґрунтів від руйнівних процесів під впливом рушіїв машин та їхніх робочих органів.

Однак існуючі ґрунтообробні машини не завжди забезпечують належну якість виконання технологічних операцій, що потребує багаторазових проходів техніки, додаткових енергетичних і трудових витрат. Актуальним є створення

або модернізація комбінованих знарядь, здатних за один прохід виконувати декілька операцій, зменшуючи при цьому вплив на ґрунт.

У цьому контексті значний інтерес становить застосування культиваторів-щілинорізів, які завдяки спеціальній конструкції робочих органів забезпечують ефективне розпушування ущільненого шару ґрунту без його перевертання, сприяють накопиченню вологи, зменшенню ерозійних процесів та енергозбереженню.

Метою даної кваліфікаційної роботи є обґрунтування доцільності використання модернізованого культиватора-щілиноріза в умовах фермерського господарства при вирощуванні ярої пшениці, розробка конструктивного удосконалення цього агрегату та визначення його впливу на агротехнічні й економічні показники виробництва.

Об'єкт дослідження — процес основного обробітку ґрунту під яру пшеницю в умовах фермерського господарства.

Предмет дослідження — конструкція комбінованого культиватора-щілиноріза та показники його ефективності.

Практичне значення роботи полягає в тому, що результати дослідження можуть бути впроваджені у виробництво, що дозволить підвищити якість обробітку ґрунту, зменшити витрати пального й трудових ресурсів, а також покращити загальний стан ґрунтового середовища.

1. АНАЛІЗ ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

1.1 Загальна характеристика фермерського господарства

Розглянемо загальну характеристику господарства на прикладі Фермерського господарства «Натон» - ключовий суб'єкт аграрного виробництва, що забезпечує продовольчу безпеку регіону та сприяє розвитку сільськогосподарського сектору. Господарство спеціалізується на вирощуванні зернових культур, зокрема ярої пшениці, яка є важливою сільськогосподарською культурою для забезпечення продовольчих та фуражних потреб.

Господарство розташоване у Сумському районі, в с. Постольне, у сприятливій агрокліматичній зоні, що дозволяє ефективно вирощувати яру пшеницю із застосуванням сучасних агротехнологій. Земельний банк господарства становить 4820 га, з яких під вирощування ярої пшениці відведено 5000 га. Основні види діяльності включають:

- Вирощування зернових і технічних культур;
- Використання сучасних методів обробітку ґрунту та посіву;
- Застосування інноваційних технологій у землеробстві;
- Впровадження раціональних систем удобрення та захисту рослин.

У структурі сівозміни господарства яра пшениця займає важливе місце, оскільки ця культура має високий попит на внутрішньому ринку та забезпечує стабільний дохід.

1.2 Аналіз матеріально-технічної бази господарства

Фермерське господарство володіє достатнім парком сільськогосподарської техніки, необхідної для ефективного вирощування ярої пшениці. Основними видами техніки, що використовуються в процесі вирощування даної культури, є:

- Трактори: МТЗ-80, Т-150, ЮМЗ-8244 - виконують технологічні операції: оранку, культивацію, посів та збирання врожаю.

- Культиватори: КПЩ-4, модернізований культиватор-щілиноріз – застосовується для передпосівного обробітку ґрунту та підготовки площ під посів.
- Посівна техніка: Сівалки типу 2 СПЗ-3.6– забезпечують рівномірний висів насіння.
- Засоби захисту рослин: обприскувачі типу ОВТ-1, які дозволяють ефективно здійснювати внесення гербіцидів, фунгіцидів та інсектицидів.
- Зернозбиральна техніка: комбайни John Deere S 680i – використовуються для збирання врожаю із мінімальними втратами, для підбирання валків ДОН-1500 +ППТ-3

Наявність сучасного технічного забезпечення дозволяє здійснювати всі етапи вирощування ярої пшениці в оптимальні агротехнічні терміни. Однак аналіз матеріально-технічної бази показав, що використання традиційного культиватора КПЩ-4 не забезпечує достатньої якості передпосівного обробітку ґрунту, ущільнює верхній шар, знижує водопроникність та продуктивність культури.

1.3 Аналіз продуктивності та економічних показників господарства

Оцінка господарської діяльності фермерського господарства включає аналіз урожайності культур, рівня рентабельності, продуктивності праці та собівартості вирощування ярої пшениці.

Загальний земельний капітал господарства у 2024 році порівняно з 2022 роком зменшився на 20 га. Сільськогосподарські площі зменшилися на 1,42%, або 32 на 68 га. та площа ріллі відповідно на 0,09% або 4 га при цьому площа посіву зростає на 38 га, що становить 0,83 %. Майже всі сільськогосподарські угіддя використовуються під вирощування сільськогосподарських культур. ФГ «Натон» – велике господарство, одне з найбільших в районі.

**Показники землекористування та ефективності використання земельних угідь
ФГ «Натон»**

Показник	2022 р.	2023 р.	2024 р.	Відхилення 2024р. від 2022 р.	Відхилення у %, 2024 р від 2022 р.
Загальна площа земельних угідь господарства, га	4840	4775	4820	-20	-0,41
з них с/г угіддя, га	4780	4708	4712	-68	-1,42
Площі ріллі, га	4695	4680	4691	-4	-0,09
Площа посівів господарства, га	4580	4608	4618	38	0,83
Навантаження в розрахунку на 1 працівника, га:					
сільськогосподарськ их угідь	25,29	24,39	38,00	12,71	50,25
посівних площ	24,23	23,88	37,24	13,01	53,68
Фондозабезпеченість сільськогосподарськ их угідь на 100 га, тис. грн/га	11,78	10,41	10,65	-1,13	-9,60
Витрати коштів в розрахунку на 100 га посівних площ, тис. грн./га.	1482,7	1543,1	1679,5	196,73	13,27

Оцінка фінансових показників свідчить, що господарство має стабільний рівень прибутковості, проте є резерви для підвищення ефективності використання ресурсів.

1.4 Проблеми та шляхи їх вирішення

Аналіз виробничого процесу виявив низку проблем, які потребують вирішення:

1. Ущільнення ґрунту при традиційному обробітку, що знижує водопроникність і аерацію кореневої зони.

2. Нерівномірність загортання насіння при використанні стандартного культиватора, що впливає на схожість та розвиток рослин.

3. Підвищена витрата пального та зношення техніки, пов'язані з використанням традиційного культиватора, який не забезпечує ефективного подрібнення і перемішування ґрунту.

Запропоноване рішення – використання модернізованого культиватора-щілиноріза, який забезпечує:

- покращене розпушування та зниження ущільнення ґрунту;
- збереження вологи за рахунок оптимальної структури ґрунту;
- рівномірний розподіл насіння у ґрунті;
- зменшення витрат пального та зношення техніки.

Впровадження модернізованого культиватора дозволить підвищити якість обробітку ґрунту, покращити умови для росту ярої пшениці та збільшити рівень урожайності.

Аналіз господарської діяльності фермерського господарства показав, що ефективність вирощування ярої пшениці значною мірою залежить від якості обробітку ґрунту та правильного вибору сільськогосподарської техніки. Наявний парк техніки дозволяє здійснювати весь комплекс агротехнічних заходів, проте використання традиційного культиватора не забезпечує необхідної якості передпосівного обробітку.

Впровадження модернізованого культиватора-щілиноріза дозволить вирішити проблему ущільнення ґрунту, покращити схожість насіння, знизити витрати ресурсів і підвищити рентабельність вирощування ярої пшениці. Це сприятиме покращенню господарської діяльності та підвищенню продуктивності аграрного сектору.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Аналіз типових технологій вирощування пшениці ярої з встановленням шляхів її удосконалення

Війський стан в Україні, з огляду на негативні наслідки активного обстрілу сільськогосподарських підприємств, загострення екологічних, соціально-економічних і демографічних проблем, сучасні методи, системи та технології весняного до- і післяпосівного обробітку обґрунтовано мають бути направлені на захист, відновлення родючості, а також на запобігання деградаційним процесам агроландшафтів (ерозії, ущільнення, опустелюванні, підкисленні, фітопатогенним рецидивам тощо). Дефіцит та небачене зростання цін на паливно-мастильні матеріали змушують аграріїв шукати способи зниження витрат ресурсів і енергії на виробництво кожної одиниці продукції.

Аналіз агрокліматичної ситуації в країні підтверджує, що дослідження глобальних змін клімату стали очевидно реальними, особливо для агропромислового сектора. Основними проявами цього є нерівномірний і дефіцитний розподіл атмосферних опадів (менше 50% від норми), а також аномальне підвищення середньомісячної та середньодобової температури повітря і обґрунтовано, навіть у зимовий період.

У Лісостеповій зоні є критично низький рівень запасів вологи в активному кореневмісному шарі обґрунтування того, що в умовах кліматичних аномалій стає серйозною перешкодою для реалізації біологічного потенціалу озимих зернових культур і ріпаку, а також уповнює початковий рист і розвиток ярих культур. Більше зменшення запасів доступної обґрунтованої вологи створює загрозу для успішного відновлення вегетації озимих, якісного передпосівного обґрунтування обґрунтування, сівби та початкових етапів росту ярих культур.

Фактографічні дані останніх років свідчать про проблеми загострення: початок весняно-польових робіт де вітру частіше супроводжується різким підвищенням температури, низькою вологістю повітря та сильними поривами, що характерні ознаками атмосферної посухи.

Яра пшениця є однією з основних зернових культур, що вирощуються в Україні. Вона має коротший вегетаційний період порівняно з озимими культурами, тому її технологія вирощування потребує оптимізації всіх агротехнічних заходів для досягнення максимальної врожайності.

Розглянемо типові технології вирощування ярої пшениці

Вирощування ярої пшениці здійснюється за кількома традиційними технологічними схемами, які включають такі технологічні операції:

1. Основний обробіток ґрунту [2]:

- Проведення оранки на глибину 20–22 см (традиційна технологія);
- Безвідвальний обробіток (Mini-till, Strip-till);
- Поверхневий обробіток дисковими або лаповими знаряддями (No-till).

В табл. 2.1 показаний приклад застосування обробітку ґрунту та приріст урожаю з використанням удобрення.

Таблиця 2.1- Вплив на урожайність ярої пшениці при застосуванні обробітку ґрунту та удобрення

№ вар.	Варіант досліджу		Урожайність, т/га	Приріст урожаю, ± до контролю	
	обробіток ґрунту	удобрення		т/га	%
1	Оранка, 20–22 см	Побічна продукція попередника (Фон) контроль	2,34	-	-
2		Фон + N ₄₅ P ₃₀ K ₃₀	3,38	1,04	44,4
3		Фон + N ₄₅ P ₃₀ K ₃₀ + орг. добриво-біостимулятор	3,87	1,53	65,4
4	Дискування, 10–12 см	Фон	2,61	0,27	11,5
5		Фон + N ₄₅ P ₃₀ K ₃₀	3,42	1,08	46,1
6		Фон + N ₄₅ P ₃₀ K ₃₀ + орг. добриво-біостимулятор	4,03	1,69	72,2
	НІР ₀₅		-	0,25	-

2. Передпосівний обробіток ґрунту:

- Проведення культивації на глибину 6–8 см;
- Боронування для вирівнювання поверхні та збереження вологи;
- Коткування перед посівом (за необхідності).

Традиційний прийом збереження вологи обґрунтовано шляхом боронування в умовах швидкого підвищення температури збільшує свою ефективність. Це зумовлено тим, що випаровування вологи через капілярні розриви припиняється ще до того, як сільськогосподарська техніка може вийти в поле. Отже, доцільність цього агротехнічного заходу обмежується переважно вирівнюванням та розпушенням верхнього (0–5 см) шару.

Водночас, якщо проведено якісну зяблеву оранку, боронування у двох слідах (наприклад, важкими та легкими зубовими боронами) можна замінити традиційну передпосівну культивуацію для ранніх ярих культур, дозволяючи негайно почати сівбу. Залежно від фізичного стану ріллі, борони відповідних типів для підвищення ефективності роботи монтують на широкозахватні зчіпки.

Пшениця яра потребує неглибокого загортання (3–6 см), що не завжди забезпечує достатню вологість для проростання. Тому глибина передпосівного обробітку культури обґрунтовано коригується залежно від рівня вологи в посівному шарі. У разі недостатнього вологозабезпечення додатково застосовується до- або післяпосівне котлення, зазвичай кількочасто-шпорові котки.

2. У лісостеповій зоні, до якої відноситься Сумщина, достатнє зволоження, а яра пшениця, яку висіяли після картоплі, кукурудзи та цукрових буряків, зазвичай більше врожайна, чим озима пшениця. Помірний та вологий клімат, довготривала весна, часті опади - сприяють розвитку цієї культури.

Посів [2]:

- Оптимальні строки: кінець березня –початку квітня;
- Загортання насіння глибиною – 3–5 см;
- Норма висіву – 4,5–5,5 млн схожих зерен/га.

Щоб якісно підготуватись до сівби ярої пшениці, необхідно виконати ряд агротехнічних операцій: правильно підібрати попередника культури, сорт пшениці, якісно підготувати ґрунт для посіву, внести добрива, підготувати насіння.

Посівну розпочинають, якщо глибина загортання насіння має температуру ґрунту +2 чи 3 град., тоді посів проводиться на першому тижні, якщо є фізична стиглість ґрунту.

3. Для досягнення гарного урожаю, не менш важливо, крім сівби та норм і глибини посіву, забезпечення правильної організації агротехніки. Ось рекомендації догляду за посівами:

- своєчасно проводити лушення стерні (із глибокою (зяблевою) оранкою) задля своєчасного знищення шкідників (комах);

- використовувати фосфорно-калійні добрива, щоб підвищити стійкості пшениці до різних хвороб: коренева гниль, бура листкова, стеблова, жовта іржа, борошниста роса та інші;

- чергувати культури у сівозміні, щоб відновлювалась родючість ґрунту.

Якщо поле якісно удобрене, то пшениця формує потужну кореневу систему, а також економно витрачає вологу., а значить і добре переноситься посуха. Підвищує шанси на успіх при знищенні бур'янів та шкідників - своєчасно внесені гербіциди.

Отже, догляд за посівами:

- Внесення азотних, фосфорних та калійних добрив (в середньому N80P60K40 кг/га);

- Гербіцидна та фунгіцидна обробка;

- Інсектицидний захист за необхідності.

4. Своєчасне якісне збирання врожаю ярої пшениці в фермерському господарстві було б доцільніше використання одночасно різних технологій, це - пряме комбайнування та технології збирання (роздільного) врожаю. Збирання ярої пшениці здійснюється при вологості пшениці від 14 до 16 відсотків.

Проблеми традиційних технологій та шляхи їх удосконалення

Незважаючи на високу врожайність за традиційної системи вирощування, вона має низку недоліків:

- Високий рівень ущільнення ґрунту при багаторазових проходах техніки;
- Втрата вологи через надмірну механічну обробку;
- Високі енергетичні витрати через використання традиційних важких агрегатів;
- Зниження родючості ґрунту через руйнування його структури.

Для усунення цих проблем запропоновано застосування модернізованого культиватора-щілиноріза, який забезпечує:

- Зменшення ущільнення ґрунту за рахунок глибокого розпушування без перевертання пласта;
- Покращене збереження вологи у верхніх шарах ґрунту;
- Раціональне внесення добрив без порушення структури посівного ложа;
- Зниження енергетичних витрат та рівномірність передпосівного обробітку.

Впровадження цієї технології дозволить підвищити ефективність вирощування ярої пшениці, знизити виробничі витрати та підвищити врожайність.

Аналіз існуючих рекомендованих технологій вирощування ярої пшениці дозволяє запропонувати подальше їх удосконалення. Таким чином, що доцільним є застосування безвідвального обробітку в поєднанні із сучасними методами боротьби з бур'янами, що сприяє підвищенню врожайності ярої пшениці та ефективному використанню ресурсів за допомогою важкого плоскорізного культиватора з конструкційними покращеннями. Ефективність цього підходу досягається за умови комплексного використання організаційних, технологічних і хімічних методів боротьби з бур'янами.

В табл.2.2 наведений аналіз узагальненої технології вирощування ярої пшениці у вигляді технологічної карти [1].

Технологічна карта

Культура: яра пшениця по непарових попередниках
Площа сівби – 100 га, урожайність –32 ц/га.
Валовий збір основної продукції – 320т, побічної продукції–320 т.

Найменування робіт	Одиниці виміру	Склад агрегата		Змінні норма виробітку	Затрати праці, л-год.		Послуги автотранспорту г/км	Електроенергія, кВт/час	Витрати пального, ц
		Трактор, комбайн	С.-г. машина, знаряддя		Трактор-сів, машинистів	Інших працівників			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Основний обробіток ґрунту									
Лушення стерні	га	T-150	ЛДГ-15	58	12,04				2,0
Завантаження мін добрив	т	ЮМЗ	ПЭ-0,8	160	2,66				0,18
Транспортування м. добр.	т	ЮМЗ	1РМГ-4	9,4	44,66				2,40
Внесення мін добрив	га	ЮМЗ	1РМГ-4	32	21,91				1,6
<i>Оранка, 25-27 см</i>	<i>га</i>	<i>T-150</i>	<i>ПЛН-5-35</i>	<i>7,1</i>	<i>49,28</i>				<i>6,40</i>
<i>Оранка, 25-27 см</i>	<i>га</i>	<i>T-74</i>	<i>ПН-4-35</i>	<i>4,2</i>	<i>74,48</i>				<i>5,70</i>
За період	х	х	х	х	205,0				18,28

Передпосівний обробіток ґрунту, сівба									
Передпосівна культивування	га	T-150	КПГ-4	49	10,01				1,8
Завантаження насіння	т		вручну	8		1,26			-
Завантаження добрив	т		вручну	18		14,98			-
Транспортування насіння і добрив	т	ЮМЗ	2ПТС-4	13,5	3,85				0,12
Заправка сіялок	т		вручну	1,0		105,0			
Сівба з внесенням добрив	га	T-150К	2 СЗП-3,6	37,72	14,79	49,98			5,12
За період	х	х	х	Х	28,65	171,2			7,04
Догляд за посівами									
Підвезення води для приготування розчину гербицидів	т	ЮМЗ-6	ВР-3	12	17,50				0,6
Приготування робочого розчину	т		Вручну	12		17,50			
Обробіток посівів гербицидами	га	МТЗ-80	ОВТ-1	23	30,45				2,0
За період	х	х	х	Х	47,95	23,53			2,06
Збирання врожаю									
Прокоси, обкоси	га	СК-5	ЖВН-6	16	2,17				0,18
Скошування в валки	га	СК-5	ЖВН-6	19	35,				2,94
Підбирання валків	га	ДОН-	ППТ-3	12,5	33,60				1,65
Транспортування зерна	т		Автомашина				1600		
Транспортування соломи	т	МТЗ	2ПТС-4	11,5	194,1				6,4
Скирдування	т	МТЗ	СНУ-0,5	37	60,55	242,2			3,84
Очистка зерна на току	т		ОВС-25	7,5	32,59	65,38		375	
Завантаження на автомобілі	т		ЗПС-40	60	2,80	5,60		28	
Завезення зерна в сховище	т		Автомашина				120		
Розвантаження зерна в сховищі	т		Вручну	9		18,69			
За період	х	х	х	х	360,8	331,8	1720	403	15,01
Всього за рік	х	х	х	х	642,4	526,5	1720	403	42,39

2.2 Розрахунок основних показників роботи сільськогосподарського агрегату для основного безвідвального обробітку ґрунту [1, 2, 3]

На основі аналізу існуючих технологічних операцій з вирощування ярої пшениці пропонується вдосконалити процес основної обробки ґрунту, використовуючи модернізований важкокомбінований культиватор КПЩ-4. Вносимо конструкційні зміни, спрямовані на підвищення надійності виконання технологічного процесу в конкретних умовах, а також оснастити агрегат додатковими робочими органами у вигляді щілинорізів. Отже, доцільним є проведення аналізу та обґрунтування оптимального складу агрегату для виконання даного процесу, щоб використовувати найбільш ефективні варіанти агрегування та кінематичні режими роботи.

Запропоновані заходи допоможуть підвищити ефективність праці, знизити витрати пального, зберегти накопичення вологи в ґрунті, що загалом сприятиме підвищенню ефективності вирощування ярої пшениці в господарстві.

Для оцінки ефективності використання модернізованого культиватора-щілиноріза необхідно провести розрахунок основних експлуатаційних показників машино-тракторного агрегату (МТА), який використовується для основного обробітку ґрунту.

Ефективність роботи агрегатів (ґрунтованообробних) значною мірою залежить від відповідності трактора та сільгоспмашини для виконання технологічної (конкретно) операції, а також від оптимального балансу між тяговими зусиллями трактора та робочим опорним агрегатом.

Перед вибором типу та моделі трактора, а також підбором відповідної сільськогосподарської машини, необхідно забезпечити низку важливих факторів. До основних належать: наявність у господарстві придатних енергетичних засобів і обґрунтовано обробних машин, які можуть виконувати задану операцію, а також природно-кліматичні умови, в яких робота мається. Важливими параметрами є: тип ґрунту, попередня культура, в якому стані поле, його конфігурація і площа, якої довжини гони, кут схилу тощо.

Розглянемо поле площею 70 гектарів з довжиною гонів 900 метрів, де планується вирощувати яру пшеницю, а механічний склад ґрунту переважно важкий суглинок, попередня культура- соняшник, кут схилу не більше 3 відсотків.

З огляду на дефіцит вологи в підставі та значні витрати пального і трудових ресурсів при традиційному полицевому обробітку, доцільним є використання безвідвальних знарядь для підготовки ґрунту. таким чином, пропонується застосування важкого комбінованого культиватора КПЩ-4, оснащеного трійкою щілинорізами, що забезпечує розпушення переуцільненого шару (підорного) ґрунту..

Основними робочими органами культиватора є важкі культиваторні лапи, закріплені на жорстких стоянках з шириною захвату агрегату 4 метри. Максимально агротехнічні вимоги для даного культиватора (за його технічною характеристикою) за показником інтенсивності (кришення) ґрунту виконується при швидкості робочій 9 - 10 км/год.

Даний культиватор може бути агрегований з трактором третього класу, що найбільш поширені у невеликому фермерському господарстві. Це може бути трактор Т-150К. А щоб визначити необхідну передачу, на якій він ефективно працюватиме, проведемо наступні розрахунки.

Визначимо зусилля (тягове) трактора на гаку $P_{\text{гак}}(\text{кН})$ при II та III передачах, врахувавши відповідні умови

$$P_{\text{гак}} = \frac{10^4 \cdot N_e \cdot i_T \cdot \eta_{\text{тр}}}{n_{\text{дв}} \cdot r} - G_{\text{тр}} \cdot (f + i) \quad (2.1)$$

де N_e - ефективна потужність двигуна, ($N_e = 121,4 \text{ кВт}$);

i_T - передаточне число трансмісії, ($i_T^2 = 52,5$; $i_T^3 = 42,7$);

$\eta_{\text{тр}}$ - механічний КПД трансмісії, ($\eta_{\text{тр}} = 0,92$);

$n_{\text{дв}}$ - номінальна частота обертання колінчастого вала, хв^{-1} , ($n_{\text{дв}} = 2100 \text{ хв}^{-1}$);

r_0 – дотичний радіус ведучих коліс, м (із технічної характеристики

$r_0 = 0,64$ м з урахуванням прогину шин);

$G_{\text{тр}}$ - маса трактора, Н, ($G_{\text{тр}} = 76000$ Н);

F - коефіцієнт опору коченню, ($f = 0,19$);

i - максимальна величина підйому схилів на полі, ($i = 0,03$);

$$P_{\text{зак}}^{\text{II}} = \frac{10^4 \cdot 121,4 \cdot 52,5 \cdot 0,92}{2100 \cdot 0,64} - 76000 \cdot (0,19 + 0,03) = 26,90 \text{кН}$$

$$P_{\text{зак}}^{\text{III}} = \frac{10^4 \cdot 121,4 \cdot 42,7 \cdot 0,92}{2100 \cdot 0,64} - 76000 \cdot (0,19 + 0,03) = 18,8 \text{кН}$$

Теоретична швидкість на II та III передачах така:

$$v_{\text{т}} = 0,377 \cdot \frac{n_{\text{дв}} \cdot r_0}{i_{\text{т}}} \quad (2.2)$$

Тоді маємо

$$v_m^{\text{II}} = \frac{0,377 \cdot 2100 \cdot 0,64}{52,5} = 9,65 \text{км/год}$$

$$v_m^{\text{III}} = \frac{0,377 \cdot 2100 \cdot 0,64}{42,7} = 11,86 \text{км/год}.$$

Робоча швидкість агрегату з урахуванням буксування коліс буде така:

$$v_p = v_{\text{т}} \left(1 - \frac{\delta}{100} \right) \quad (2.3)$$

де δ - коефіцієнт буксування ($\delta = 6 \dots 20\%$), при роботі на стерні для трактора Т-150К $\delta = 5 \dots 10\%$ (приймаємо $\delta = 5\%$).

$$v_p^{\text{II}} = 9,65 \left(1 - \frac{5}{100} \right) = 9,16 \text{км/год}$$

$$v_p^{\text{III}} = 11,86 \left(1 - \frac{5}{100} \right) = 11,26 \text{км/год}$$

Використовуючи експериментальні дані та інформацію виробника, глибина обробітку- 0.2 метри, ширина захвату один метр, то культиватор з важкими лапами матиме тяговий (питомий) опір $K_0 = 3,5$ кН (при швидкості 5 км/год).

Якщо швидкість збільшувати, то питомий опір визначимо так:

$$K_0^v = K_0 \cdot [1 + 0,006(V_p^2 - V^2)] \quad (2.4)$$

$$K_0^{vII} = 3,6 \cdot [1 + 0,006(9,16^2 - 5^2)] = 4,87 \text{ кН}$$

$$K_0^{vIII} = 3,6 \cdot [1 + 0,006(11,26^2 - 5^2)] = 5,79 \text{ кН}$$

При урахуванні ширини захвату робочий опір культиватора визначимо за формулою

$$R_{BK} = K_0^v \cdot B \quad (2.5)$$

де B – конструкційна ширина захвату агрегату, $B = 4$ м

$$R_{BK}^{II} = K_0^{vII} \cdot B = 4,87 \cdot 4 = 19,48 \text{ кН}$$

$$R_{BK}^{III} = K_0^{vIII} \cdot B = 5,79 \cdot 4 = 23,19 \text{ кН}$$

Коефіцієнт зусилля (тягового)

$$\eta_{T3} = \frac{R_{BK}}{P_{TAK}}; \quad (2.6)$$

$$\eta_{T3}^{II} = \frac{R_{BK}^{II}}{P_{TAK}^{II}} = \frac{19,48}{26,9} = 0,72;$$

$$\eta_{T3}^{III} = \frac{R_{BK}^{III}}{P_{TAK}^{III}} = \frac{23,19}{18,8} = 1,23$$

Аналізуючи коефіцієнти використання тягового зусилля Т-150, можна зробити висновок, що з III передачею потужність двигуна недостатня. Отже, з усіх варіантів, найбільш прийнятних за тяговими характеристиками та швидкісними режимами, рекомендованими в інструкціях з експлуатації культиватора КПЩ-4, є використання іншої робочої передачі- 9.16 км/год. У цьому випадку агрегат забезпечує оптимальну робочу швидкість, тому саме цей режим вибрано для подальших розрахунків та експлуатації.

Розраховуємо продуктивність змінну

$$W_{зм} = 0,1 \cdot B_p \cdot \vartheta_p \cdot T_p \quad (2.7)$$

де B_p – робоча ширина захвату агрегату, м;

ϑ_p – робоча швидкість;

T_p – робочий час зміни;

$$T_p = T_{зм} \cdot \tau ; \quad (2.8)$$

де $T_{зм}$ - час зміни, ($T_{зм} = 7\text{год}$)

τ – коефіцієнт використання часу зміни (для протнерозійного, безвідвального обробітку $\tau = 0,85$);

$$T_p = 7 \cdot 0,85 = 5,95\text{год.}$$

За вищевказаних умов маємо:

$$W_{зм}'' = 0,1 \cdot 4 \cdot 9,16 \cdot 5,95 = 21,82\text{га} / \text{зм}$$

Витрати пального можна визначити за емпіричною формулою:

$$Q_{га} = Q_{зм} / W_{зм} \quad (2.9)$$

де $Q_{зм}$ – витрати палива за зміну, кг/зм;

$W_{зм}$ - продуктивність агрегату за зміну, га/зм.

$$Q_{зм} = Q_p \cdot T_p + Q_x \cdot t_x + Q_3 \cdot t_3; \quad (2.10)$$

де $Q_{пг}$, Q_x , Q_3 - відповідно годинні витрати палива під час робочих та холостих ходів і на зупинках з працюючим двигуном, кг/год

t_x , t_3 - відповідно затрачений час на робочі ходи та зупинки з працюючим двигуном, год.

Зазвичай приймається $t_x = t_3$

$$t_x = t_3 = \frac{T_{3M} - T_p}{2} \quad (2.11)$$

$$t_x = t_3 = \frac{7 - 5,95}{2} = 0,525 \text{ год.}$$

Згідно з [5] для трактора Т-150К, на другій передачі $Q_p = 36,7 \text{ кг/год}$

$$Q_x = 21,9 \text{ кг/год}; \quad Q_3 = 5 \text{ кг/год.}$$

$$\text{Отже, } Q_{3M} = 36,7 \cdot 5,95 + 21,9 \cdot 0,525 + 5 \cdot 0,525 = 232,48 \text{ кг/зм}$$

Тоді витрата пального

$$Q_{га}^{II} = \frac{Q_{3M}}{W_{3M}^{II}} = \frac{232,48}{21,8} = 10,66 \text{ кг/га} \quad (2.12)$$

Розрахунки показують, що комбінований агрегат: трактор Т-150К з важким комбінованим культиватором із шириною захвату чотири метри, має вищу продуктивність і нижчі витрати пального на II передачі порівнюючи з Т-150К + ПЛН-5-35 та Т-74 + ПН-4-35, що забезпечували полицевий обробіток (див. Технологічну карту). Крім того, у разі непередбаченого збільшення тягового опору або введення додатково органи, трактор може працювати на першій передачі, що забезпечує гнучкість його використання.

Отже, модернізований культиватор-щілиноріз у складі з трактором Т-150К забезпечує продуктивність 21,8 гектрів за зміну. що дозволяє виконати основний обробіток ґрунту на площі 70 га приблизно за 25 годин роботи.

2.3 Підготовка поля до роботи

Якісне виконання процесу та ефективне використання агрегату - необхідність правильної підготовки поля. Підготовка включає очищення площі від можливих перешкод, які можуть завадити робочій техніці, а також визначення оптимального напрямку та способу руху агрегату. При виборі схеми руху враховують особливості виконаних робіт, форму та розміри поля, довжину гонів, а також наявність і кут нахилу шилів. Обраний спосіб повинен забезпечити високу продуктивність, економічність та відповідати агротехнічним вимогам.

Оскільки під час основного безполицевого обробітку ґрунту застосування важкого комбінованого агрегату після його проходу залишається на ділянці рівна поверхня без звальної і розвальної борозни орброблювана смуга шириною чотири метри, найбільш ефективний спосіб руху в цьому випадку є гоновий (човниковий) метод із поворотами (петльовими). Така схема дозволяє рівномірно обґрунтувати, знизити витрати пального та підвищити продуктивність польових робіт.

2.3.1 Розрахунок величини поворотних смуг

При використанні гонувих способів руху по краю поля необхідні смуги для повороту агрегату та заїзду (холостого). Від виду повороту, комбінованого агрегату (його складу) буде залежати ширина смуги поворотної. При використанні петльового повороту, як у нашому випадку, ширина смуги поворотної розраховується за формулою:

$$E = 3R_{\min} + L_a, \quad (2.13)$$

де R_{\min} – мінімальний радіус повороту, м (для трактора Т-150К $R_{\min} = 5,2$ м)

L_a – кінематична довжина агрегату.

Для причіпного агрегату $L_a = L_{\text{тр}} + L_{\text{м}}$

де $L_{\text{тр}}$ – кінематична довжина трактора ($L_{\text{тр}} = 1,15$ м);

$L_{\text{м}}$ – кінематична довжина машини ($L_{\text{м}} = 3,6$ м).

$$L_a = 1,15 + 3,6 = 4,75\text{м}$$

А ширина (розрахункова) смуги буде:

$$E = 3 \cdot 5,2 + 4,75 = 20,35\text{м}.$$

Врахуємо, що ширина смуги (поворотної) і ширина захвату агрегату мають бути кратні, то приймемо:

$E = 20\text{м}$, так як $E = K \cdot B_p$ де K – це кратність

$$K = \frac{E}{B_p} = \frac{20,35}{4} = 5,08 \approx 5 \quad (2.14)$$

Округливши, отримаємо: $E = 5 \cdot 4 = 20(\text{м})$

2.3.2 Розбивання поля на загінки

При використанні на полі декількох агрегатів, поле розбивається на загінки таких розмірів щоб виконувалась робота агрегату дві або три зміни. Шлях холостого ходу також залежить від розміру загінки, який в свою чергу залежить від загального часу виконання роботи човниковим рухом з петльовим поворотом. Машини подібні та однотипні за призначенням можуть одночасно використовуватись у відповідних загінках для оптимальних робіт.

Тоді визначимо розмір загінки

$$C = \frac{10^4 \cdot (2..3)W_{зм}}{L}, \quad (2.15)$$

де $W_{зм}$ – змінна продуктивність агрегату.

$$W_{зм} = 21,8 \text{га/зм}$$

$$L - \text{довжина гона, м, } L = 900 \text{м}$$

$$C = \frac{10^4 \cdot 3 \cdot 21,8}{900} = 726,6 \text{м}$$

Для узгодження розмірів загінки із шириною робочої машини, визначаємо кількість проходу

$$n = \frac{C}{B_p} = \frac{726,6}{4} = 181,6 \quad (2.16)$$

А кількість загінок буде

$$n_3 = \frac{10^4 \cdot F}{L \cdot C}, \quad (2.17)$$

де F – площа поля ($F = 70 \text{га}$);

L – довжина гону ($L = 900 \text{м}$);

C – ширина загінки ($C = 726,6 \text{м}$)

$$n_3 = \frac{10^4 \cdot 70}{900 \cdot 726,6} = 1,07 \text{шт}$$

Отже, з розрахунку бачимо, що у нашому випадку дослідне поле на загінки не розділятимемо.

2.4 Розробка операційної технологічної карти на процес основного безполицевого обробітку ґрунту [1, 2, 3, 28, 29]

Розробка операційної технологічної карти для процесу основного безполицевого обробітку ґрунту є етапом планування та оптимізації агротехнічних заходів. Вона дозволяє чітко встановити порядок виконання робіт, технологічні параметри, ресурси та раціональні режими роботи агрегатів.

У процесі складання технологічної карти враховуються агротехнічні вимоги, тип обґрунтування, погодні умови, стан поля та особливості використовуваної техніки. Основним агрегатом для виконання безполицевого обробітку є важкий комбінований культиватор КПЩ-4, який забезпечує якісне розпушування ґрунту без утворення звальних і розвальних борозен. Робочими органами культиватора є важкі лапи на жорстких стоянках та додаткові щілинорізи для покращення аерації ґрунту.

Важливими параметрами технологічного процесу є глибина обробітку, швидкість руху агрегату, захват по ширині, затрати на пальне. Оптимальна глибина безполицевого обробітку становить 25–30 см, що сприяє розпушенню ущільненого підпірного шару, покращенню водопроникності та збереженню вологи. Швидкість руху агрегату збільшується тяговими можливостями трактора, станом обґрунтованості та його вологості, але, як показують розрахунки, найбільш ефективним є використання іншої робочої передачі, що забезпечує необхідне тягове зусилля оптимальне та витрати пального.

У технологічній карті передбачається використання гоночного човникового способу руху з петльовими поворотами, що дозволяє зменшити холості пробіги, рівномірно обробити поле та забезпечити ефективне використання техніки. Також враховується можливість коригування режимів роботи залежно від стану поля, погодних умов і фактичного тягового опорного агрегату. Враховується і тривалість циклу, його кількість, витрата пального за зміну.

Визначаємо тривалість циклу

$$T_{\text{ц}} = \frac{12L_p}{10^2 \cdot \vartheta_p} + 2t, \quad (2.18)$$

де L_p – робоча довжина загінки, м;

ϑ_p - робоча швидкість агрегата, км/год;

t – час повороту в кінці загінки, хв ($t = 1,5$)

$$L_p = L - 2E, \quad (2.19)$$

де L – довжина загінки, м, ($L = 900\text{м}$);

E – ширина поворотної смуги, м, ($E = 20$)

Знаходимо робочу довжину загінки

$$L_p = 900 - 2 \cdot 20 = 860\text{м}$$

Отже, тривалість одного циклу

$$T_{\text{ц}} = \frac{12 \cdot 860}{100 \cdot 9,16} + 2 \cdot 1,5 = 14,26 \text{хв} \approx 0,23 \text{год}$$

Визначимо технічну продуктивність за цикл

$$W_{\text{ц}} = 0,1B_p \cdot \vartheta_p \cdot T_{\text{ц}} \cdot \tau \quad (2.20)$$

Підставивши значення з розрахунків, зроблених вище, отримаємо

$$W_{\text{ц}} = 0,1 \cdot 4 \cdot 9,16 \cdot 0,23 \cdot 0,85 = 0,71 \text{га/ц}$$

Тепер знайдемо скільки циклів за зміну

$$n_{\text{ц}} = \frac{W_{\text{зм}}}{W_{\text{ц}}} = \frac{21,8}{0,71} = 30,7 \text{ц / зм}. \quad (2.21)$$

Розрахуємо витрату палива, необхідного на роботу зміни

$$Q_{\text{зм}} = Q_{\text{га}} \cdot W_{\text{зм}} = 10,66 \cdot 21,8 = 232,38 \text{кг / зм}$$

Розроблена операційна технологічна карта є основою для ефективного планування польових робіт, мінімізації витрат ресурсів та підвищення продуктивності основного безполицевого обробітку. Її впровадження сприятиме покращенню структури обґрунтування, збереженню вологи та підвищенню врожайності сільськогосподарських культур.

2.5 Контроль основних показників якості виконання безполицевого обробітку ґрунту

Контроль якості виконання безполицевого обробітку ґрунту є необхідним етапом оцінки ефективності проведених агротехнічних заходів. Він дозволяє встановити відповідність отриманих результатів агротехнічним вимогам, забезпечити оптимальні умови для росту сільськогосподарських культур і скоригувати технологічний процес у разі відмови.

Основними показниками якості обробітку є глибина розпушування, рівномірність обробітку, ступінь розпушеності обґрунтованості, наявність ущільнених шарів, рівень збереження поживних залишків і витрат пального.

Глибина обробітку є критичним параметром, після чого - ефективно розпушує підорний шар та підвищує водопроникність. Для безполицевого обробітку оптимальна глибина становить 25–30 см, і її контроль здійснюється шляхом вибору розмірів за допомогою обґрунтованих щупів або лінійки.

Рівномірність обробітку оцінюється за якістю обґрунтування розпушення по всій площі поля. Важливо, щоб не залишилися необроблені ділянки або сильно ущільнені зони, які можуть погіршити продуктивність посівів. Для цього візуальний огляд обробленої поверхні та дослідження структури поля на різних ділянках поля.

Ступінь розпушеності обґрунтовує його аерацію, здатність накопичувати вологу та створювати сприятливі умови для продовження використання. Вона проводиться шляхом аналізу механічного стану обробленого ґрунту включаючи розміри грудок і відсоток подрібнених частинок.

Наявність ущільнених шарів є ще одним показником, який визначає якість обробітку. Якщо після проходу агрегату в ґрунті залишаються щільні горизонти, це продукт про недостатню ефективність обробітку. Контроль виробництва шляхом зондування ґрунту металевими щупами.

Рівень збереження поживних залишків після обробітку впливає на утримання вологи в ґрунті, запобігання ерозійним процесам і підвищення

родючості. Висока частка подріблених і рівномірно розподілених залишків на поверхні ґрунту – це про якісне виконання обробітку.

Окремо оцінені витрати пального, які залежать від тягового зусилля трактора, швидкості руху агрегату та опори обґрунтовано. Оптимальні режими роботи не дозволяють мінімізувати споживання пального, використовуючи витрати на обробіток.

Здійснення систематичного контролю якості безполицевого обробітку ґрунту дозволяє підвищити ефективність агротехнічних заходів, оптимізувати технологічні параметри та створити сприятливі умови для подальшого вирощування сільськогосподарських культур.

У графічній частині роботи, яка розміщена у додатках, представлена операційна карта, заповнена на основі зроблених розрахунків.

Підвищення продуктивності праці на 10.5 гектара за зміну, а також зниження затрат праці на 101.3 людино-годин, витрата пального зменшена на 1.44 центнера (з розрахунку 100 гектар) – все це досягнуто за рахунок заміни способу обробітку: полицейий на безполицевий. Всі ці зміни показані в технологічній карті, див. табл. 2.2

Аналіз існуючих технологій вирощування ярої пшениці показав, що традиційні методи мають низку недоліків, пов'язаних із ущільненням ґрунту, втратами вологи та високими енергетичними витратами. Застосування модернізованого культиватора-щілиноріза дозволяє значно покращити ефективність передпосівного обробітку, знизити витрати пального та підвищити продуктивність машино-тракторного агрегату.

Технологічна карта вирощування ярої пшениці

Культура	яра пшениця	Попередник	непаровий	Середня відстань перевезень, км	10					
Площа посіву, га	100	Урожайність основної продукції, ц/га	32	Валовий збір основної продукції/побічної продукції, т	320/320					
№ п/п	Назва операції	Відмір	Склад агрегату		Змінна норма виробітку	Заграти праці, год/год		Послуги автотранспорту грн/км	Електроенергія, кВт/год	Витрати пального, ц
			Енергетичний засіб	Марка с/г машини, знаряддя		трактористів, машинистів	інших працівників			
Основний обробіток ґрунту										
1	Лущення стерні	га	T-150	ЛДГ-15	58	12,04				2,0
2	Завантаження мінеральних добрив	т	ЮМЗ	ПЕ-0,8	16,0	2,66				0,18
3	Транспортування міндобрив	т	ЮМЗ	1РМГ-4	9,4	44,66				2,40
4	Внесення мінеральних добрив	га	ЮМЗ	1РМГ-4	32	21,91				16
5	Безвідвальний обробіток	га	T-150К	КПЩ-4	21,8	22,47				10,66
6	За період	х	х	х	х	103,7				16,84
Передпосівний обробіток ґрунту, сівба										
7	Перелпосівна культивация	га	T-150	КПГ-4	4,9	10,01				1,8
8	Завантаження насіння	т		вручну	8		1,26			-
9	Завантаження добрива	т		вручну	18		14,98			-
10	Транспортівання насіння і добрив	т	ЮМЗ	2ПТС-4	13,5	3,85				0,12
11	Заправка сіялок посівним матеріалом	т		вручну	1,0		105,0			
12	Сівба з внесенням добрив	га	T-150К	2 СПЗ-3,6	37,72	14,79	4,9,98			5,12
13	За період	х	х	х	х	28,65	171,2			7,04
Догляд за посівами										
14	Підвезення води для приготування розчину гербіцидів	т	ЮМЗ-6	ВР-3	12	17,50				0,6
15	Приготування робочого розчину гербіцидів	т		вручну	12		17,50			
16	Обробіток посівів гербіцидів	га	МТЗ-80	ОВТ-1	23	30,45				2,0
17	За період	х	х	х	х	47,5	17,5			2,06
Збирання врожаю										
18	Об'єкти та пракаси	га	John Deere S680i	635Flex	16	2,17				0,18
19	Скошування в убалки	га	John Deere S680i	635Flex	19	35,0				2,94
20	Підбирання валків	га	ДОН	ППТ-3	12,5	33,6				1,65
21	Транспортування зерна	т	Автомашина					1600		
22	Транспортування соломи	т	МТЗ	2ПТС-4	11,5	194,1				6,4
23	Скирдування	т	МТЗ	СНУ-0,5	37	60,55	24,22			3,84
24	Очистка зерна на току перв.	т		ОВС-25	7,5	32,59	65,38			375
25	Завантаження на автомобілі	т		ЗПС-40	60	2,80	5,60			28
26	Завезення зерна в сходище	т	Автомашина					120		
27	Розвантаження зерна в сходищі	т	вручну	9			18,69			
28	За період	х	х	х	360,8	331,8	1720	403		15,01
29	Всього за рік	х	х	х	540,6	520,5	1720	403		40,95

Запропонована технологія є економічно доцільною та екологічно безпечною, що робить її перспективною для широкого використання у фермерських господарствах.

3 УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ КУЛЬТИВАТОРА-ЩІЛИНОРИЗА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ

3.1 Обладнання та принцип дії культиватора [1, 2, 3]

Культиватор (комбінований) призначений для основного (безвідвального та поверхневого) обробітку ґрунту в осінньо-весняний періоди. Він забезпечує ефективне розпушування, покращує структуру ґрунту, сприяє збереженню вологи, а також використовується для загортання пестицидів і мінеральних добрив у ґрунті. Його агрегатують із трактором II, III, V тягових класів, причіпним способом, з можливістю експлуатації на схилах не більше 8 градусів.

Культиватор складається з таких основних елементів (див.рис.3.1):

- Рама (1) – міцна металева конструкція, яка забезпечує жорсткість і дозволяє використовувати навантаження під час роботи;
- Причіпний пристрій-сниця (2) – служить для з'єднання культиватора з трактором;
- Телескопічна тяга (3) – регулює причеп, його положення;
- Робочі органи (4) – важкі культиваторні лапи, розташовані в кількох рядах на жорстких стійках, що забезпечують якісне розпушування;
- Гідравлічний циліндр (5) – переводить культиватор з положення робочого в положення для транспортування;
- Опорні колеса (6) – забезпечують стабільність глибини агрегату та регулюють обробіток.
- Траверса з кронштейнами (опорних коліс) (7);
- Механізм для регулювання глибини обробітку (8);
- Гідравлічна система (9);

Принцип дії

У процесі роботи культиватор, з'єднаний із трактором, рухається по полю, а його робочі органи розпушують ґрунт, забезпечуючи якісний обробіток без перевертання пласта. Головні етапи роботи включають:

- Розпушування ґрунту – культиваторні лапи проникають у ґрунт, розпушуючи його на задану глибину.

- Збереження вологи – безвідвальне розпушування дозволяє зменшити випаровування вологи, що особливо важливо в посушливих умовах.

- Загортання добрив і пестицидів – рівномірно розподіляє добрива та захисні препарати в обґрунтованості, підвищуючи їхню ефективність.

- Вирівнювання поверхні – культиватор залишає рівний оброблений шар без заморозки і гребенів, що створює оптимальні умови для подальшої сівби.

Використання комбінованого культиватора дозволяє підвищити продуктивність праці, скоротити витрати пального, зменшити негативний вплив на ґрунт і підвищити його агрофізичні властивості, що сприяє підвищенню врожайності сільськогосподарських культур.

Над кронштейнами коліс встановлені гвинтові пари, що регулюють глибину ходу. Величину піднімання коліс (його максимальну висоту) регулюють закручуючи або відкручуючи гвинти, відносно площини, де розміщуються робочі органи та рами. Зміна глибини обробітку в 15 сантиметрів-це 1 оберт (повний) гвинта. Стрілчасті лапи (ширина захвату 320мм) -основні робочі органи, вони кріпляться на стояках (жорстки), розпушують ґрунт глибиною не більше 20 сантиметрів. Для інтенсивного розпушення поверхні шару ґрунту з вирівнюванням його поверхні, до бруса (заднього) рами прикріплюють додаткові робочі органи.

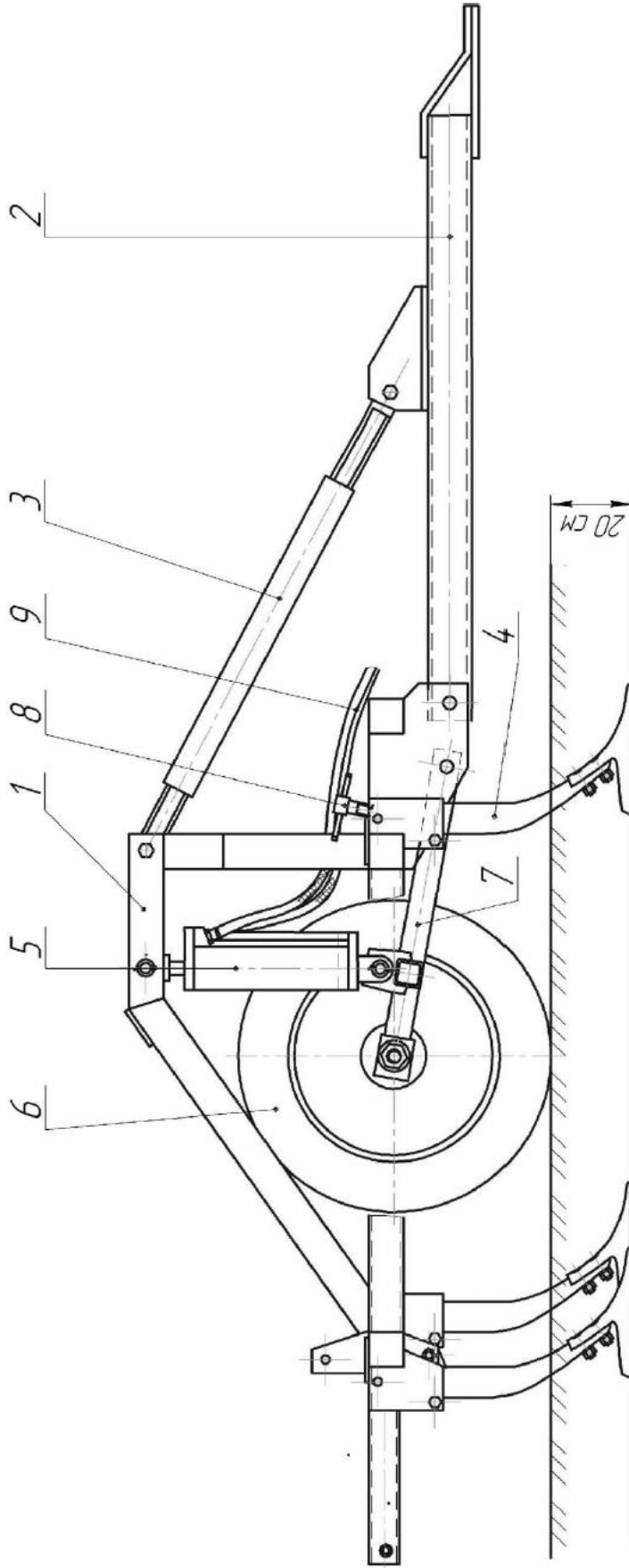


Рисунок 3.1 – Функціональна схема важкого комбінованого культиватора

Технічна характеристика

Продуктивність за 1 год. основного часу, га\ч	3,2
Робоча швидкість руху км/год, до	12
Глибина обробітку, см ,до	20
Коефіцієнт використання робочого часу зміни	0,8
Кількість обслуговуючого персоналу, чел	1
Гарантований термін експлуатації (крім лап), місяців	24
Строк служби, років	8
Середня наробітка на відмову, год	80
Щозмінний оперативний час технічного обслуговування, год	0,15
Маса культиватора, кг	1050

3.2 Обґрунтування конструктивних змін, що вносяться в культиватор [2]

Культиватор є одним із ключових сільськогосподарських агрегатів, що використовуються для обробітку ґрунту, забезпечення його розпушення, знищення бур'янів і покращення аерації. Удосконалення конструкції культиватора спрямоване на підвищення ефективності роботи, зниження енергетичних витрат і покращення агротехнічних показників.

Впровадження сучасних технологій для збирання врожаю сільськогосподарських культур, на полях залишаються велика кількість рослинних залишків, потребує використання спеціальних подрібнювачів або адаптованої ґрунтообробної техніки під час подальших етапів обробітку землі. Під час експлуатації модернізованого культиватора також виникає така проблема: накопичення залишків (рослинних), які попадають поміж стояків лапи і у підрамному просторі.

Одним із ключових факторів успішного вирощування с.-г. культур є забезпечення достатньої кількості вологи для розвитку рослин протягом усього вегетаційного періоду. У Лісостеповій зоні рівень річних опадів не завжди достатній. Тому особливо важливо зберегти вологу, що надходить у ґрунт

внаслідок осінніх дощів та танення снігу. Для цього необхідно розпушувати важкі ґрунти на достатню глибину, а також захищати щільовання підорного горизонту одночасно з основним обробіткою.

Основні проблеми, що виникають при експлуатації традиційних культиваторів, включають недостатню рівномірність обробітку ґрунту, високий опір руху, значне ущільнення ґрунту та недостатню ефективність боротьби з бур'янами. Вирішити ці проблеми можливо шляхом наступних конструктивних змін:

- зміни схеми розташування основних органів із двослідної на трьохслідну;
- збільшення конструктивної ширини захвату робочих органів до 420 мм;
- обладнання культиватора щілинорізами (див. рис.3.2).

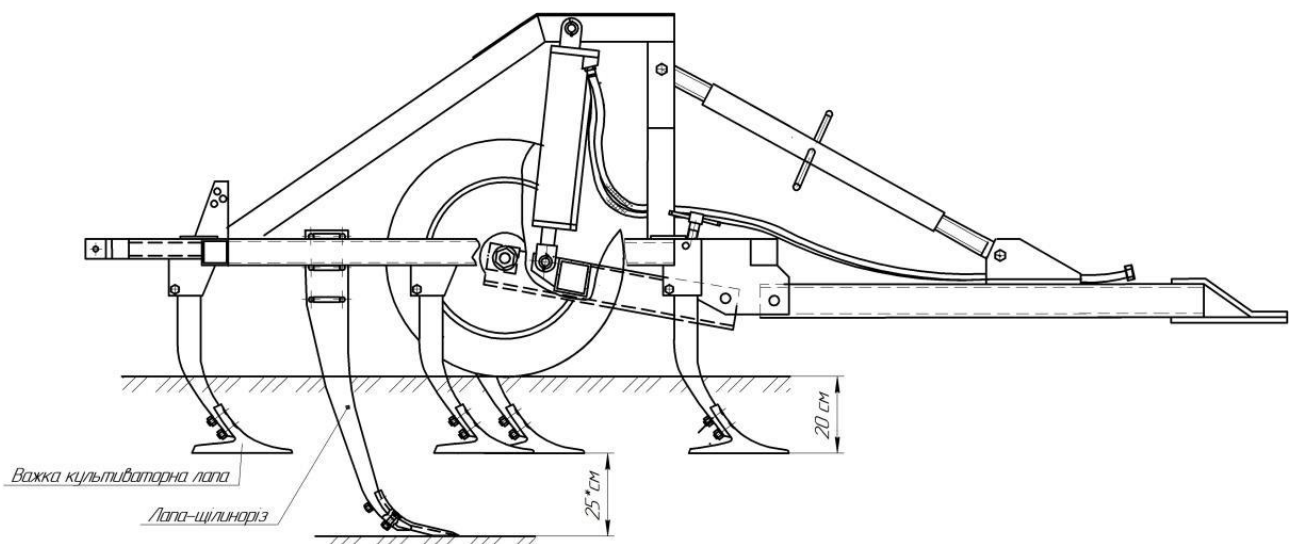


Рисунок 3.2 – Обладнання культиватора лапами-щілинорізами

Для вирішення вищезазначених завдань, необхідно розробити спеціальну культиваторну лапу із такими конструктивними параметрами, щоб досягнути якісних і енергетичних показників обробітку, які передбачені вимогами агротехніки.

3.3 Технологічні розрахунки [2, 15, 27]

3.3.1 Обґрунтування глибини обробітку ґрунту чизельними робочими органами

Якість розпушення ґрунту і енергоємність технологічного процесу залежить не тільки від форми робочої поверхні, а і геометричних параметрів стояка лапи- щілиноріза і долота, яке діє на скибу ґрунту, як двогранний клин (аналогічно).

Умова для досягнення якісного розпушування ґрунту з мінімальною витратою енергії: глибина обробітку (задана) не має бути більша за критичну глибину різання Нкр. При невиконанні цієї умови – зменшиться зона деформації ґрунту, а зросте енергоємність (процесу), і в зоні, де рухається долото, ґрунт сильніше ущільниться.

Значення кута, залежного від кута кришення та кута тертя по сталі

$$\chi = 90^\circ - (\beta + \gamma),$$

де β - кут кришення ґрунту ($\beta=25-30^\circ$);

γ - кут тертя ґрунту по сталі ($\gamma=22^\circ$)

$$\chi=90^\circ - (25^\circ+22^\circ)=43^\circ$$

При використанні щілиноріза, виникають додаткові умови.

1) Щілиноріз рухається тільки слідом за робочим (плоскорізним) органом, вісі стояків різногоробочого органу співпадатимуть за напрямком руху. Буде суттєве зниження загальної енергоємності технологічного процесу, а також стояк щілиноріза сприйматиме меші зусилля.

2) Глибина установки щілиноріза (відносно до робочого плоскорізного органу)-сколюваний ним ґрунт по ширині поверхні не більший ширини (конструктивної) захвату лапи або плоскорізу, див. рис.3.3. Якщо така умова не виконається, то інтенсивно відбудеться зминання долотом ґрунту, це, в свою чергу, зруйнує структуру ґрунту і призведе до занадто надмірної затрати енергії.

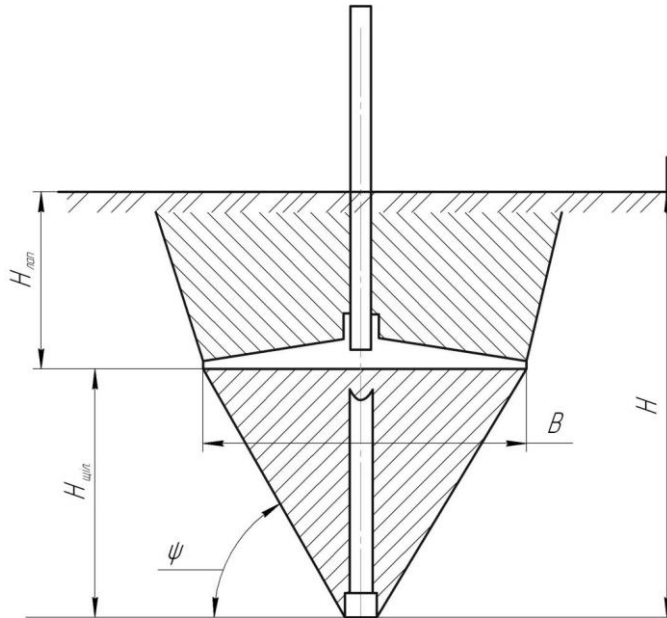


Рисунок 3.3 – Схема взаємного розташування циліндріза та плоскорізного робочого органу

Із зображеної на рис.3.3 схеми

$$n_{\psi} = \frac{W_{зм}}{W_{\psi}} = \frac{21,8}{0,71} = 30,7 \text{ц/зм.} \quad (3.1)$$

де ψ – кут сколювання ґрунту долотом (зазвичай $\psi = 45^{\circ}$)

Тоді,

$$H = \frac{B}{2 \cdot \text{ctg} \psi} = \frac{0,4}{2 \cdot \text{ctg} 45^{\circ}} = 0,2 \text{м} = 20 \text{см} \quad (3.2)$$

Конструкція розробленого стояка дозволяє забезпечувати переміщення циліндріза відносно плоскорізного робочого органу на глибині 17 та 25 см.

3.3.2 Обґрунтування взаємного розташування робочих органів по ширині захвату

Для зменшення забивання культиватора (ймовірності забивання) рослинними рештками, забезпечення заданої ступені кришення, приймемо ширину лап (стандартну) - $B=420$ мм

Відстань між плоскорізними лапами буде дорівнювати:

$$L = B / \text{tg}[90^{\circ} - (\alpha^{\circ} + \varphi^{\circ})] \quad (3.3)$$

Де α – кут кришення робочого органу;

φ – кут тертя ґрунту об робочий орган

$$L = 420 / \operatorname{tg}[90^\circ - (30^\circ + 25^\circ)] = 724 \text{ мм або } 0,724 \text{ м}$$

Необхідне перекриття, якщо розташування у 3 ряди, при $L=700\text{мм}$,

$$C = L \cdot \operatorname{tg}\delta \quad (3.4)$$

де δ – кут випадкового відхилення культиватора від прямої лінії,

приймаємо $\delta = 4^\circ$

Отже,

$$C = 0,7 \cdot \operatorname{tg}4^\circ = 0,049 \text{ м} \approx 50 \text{ мм}$$

Необхідна кількість органів (робочих)

$$n = (B - c) / (b - c) \quad (3.5)$$

Підставимо, отримаємо

$$n = (4000 - 50) / (420 - 50) = 10,68$$

Приймемо 11 шт.

Враховавши вище розглянуті умови при розташуванні щілинорізів, відносно основних робочих органів не представляється можливим забезпечити однакову відстань між щілинами по ширині обробленого поля

На рис.3.4 зображена схема розташування лап і щілинорізів на рамі культиватора, яка враховує ширину та роботи механізмів і вузлів та їх розміщення. Для зменшення негативного впливу на урожайність ущільнення ґрунту, що спричиняється колесами агрегату, маємо знизити тиск гранично. Якщо використовуються колеса із пневмошиною, то значно збільшимо площу поверхні контакту колесо-ґрунт. Такі колеса знижують і тяговий опір, коли перекочуються по поверхні, тому ще і зменшується глибина колії. Також такі шини зменшують динамічне навантаження на деталі і вузли агрегату.

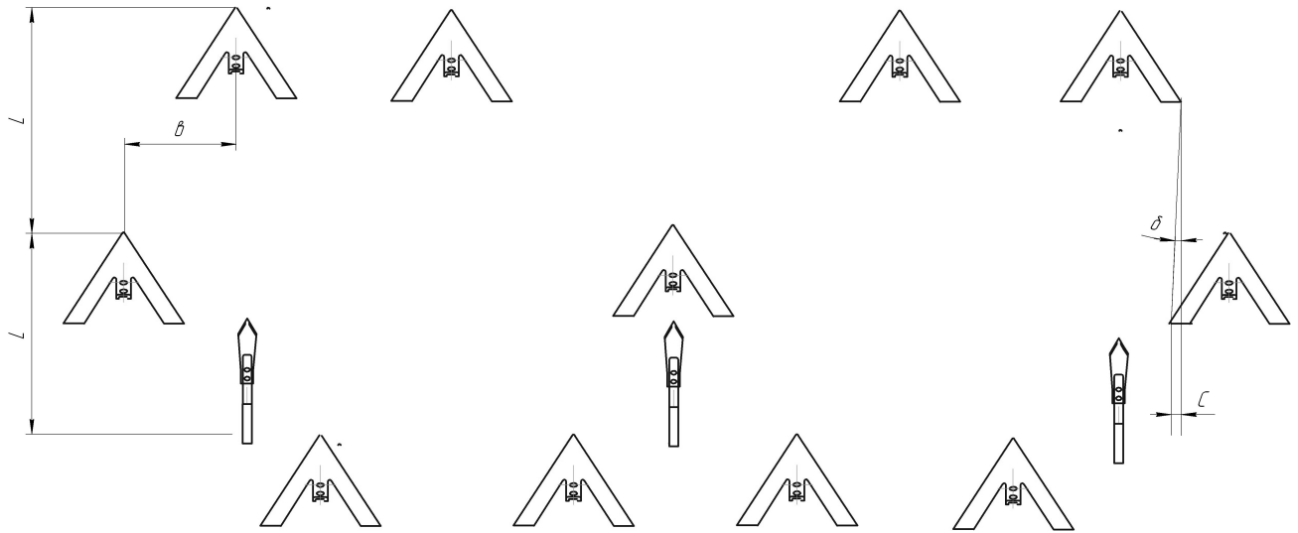


Рисунок 3.4 – Схема розташування робочих органів на рамі культиватора

3.3.3 Розрахунок параметрів колеса [2,22, 23]

За рахунок збільшення діаметру та ширини шини, зменшимо глибину колії, але це приведе до необхідності змінити компоновку робочого органу, збільшити вагу колеса. Отже необхідне таке рішення, яке забезпечить тиск на ґрунт та опір перекочуванню мінімально, але при допустимих розмірів (габаритних), ваги колеса.

Визначаємо тяговий опір колеса

$$Q_x = 0.863 \sqrt{\frac{Q_z^4}{gD^2b}}, \quad (3.6)$$

де Q_z - вертикальне навантаження на колесо, ($Q_z = F/2 = 10304\text{Н}$);

g - коефіцієнт опору ґрунту при деформації;

D - діаметр колеса, м;

B - ширина колеса, м.

Знаходимо коефіцієнт опору перекочуванню, щоб оцінити вибрані значення діаметра і ширини

$$\mu = \frac{Q_x}{Q_z}$$

Формулу (3.6) можна записати у вигляді

$$\frac{Q_x}{Q_z} = 0.863 \sqrt{\frac{Q_z}{gD^2b}}$$

Тоді маємо

$$\mu = 3 \sqrt{\frac{Q_z}{gD^2b}} \quad (3.7)$$

Проаналізувавши вираз, бачимо, що на зменшення даного коефіцієнта має вплив збільшення діаметра, а ширина має менший вплив. Якщо збільшиться щільність ґрунту, то значення коефіцієнту також зменшиться. При виконанні конструкторських робіт слід брати до уваги діаметр та ширина при

$$\mu \leq 0.2.$$

Перетворюємо ф.(3.7) таким чином

$$\frac{Q_z}{\mu^3 g} = D^2 b$$

Приймаємо $g=0.12$ МПа і, використовуючи номограму [6], вибираємо при $\mu=0,2$ та $Q_z = 10,3$ кН ширину колеса $b=22$ см та діаметр $D=80$ см. Найближчі до вибраних розміри має шина 8,25–15 моделі И–83 [6,8,9], для якої $D=83.2$ см і $b=22$ см.

Знайдемо вантажопідйомність по формулі Хелла

$$Q = AKp_b^{0.585} * B_T^{1.39} (d + B_T), \quad (3.8)$$

де A і K – постійні коефіцієнти (для шин несучих коліс $AK=0,1445$)

P_b - внутрішній тиск у шинах, Па ($P_b=0,27$ МПа)

d - номінальний діаметр обода, см

B_T - теоретична ширина профілю, см

$$B_T = \frac{B - 0,46b}{0.713}, \quad (3.9)$$

де B - ширина профілю надутої шини для прийнятого обода, см;

b - відстань між краями обода, см.

По співвідношенню вибираємо

$$\frac{H}{B} = 1 \text{ та } \frac{b}{B} = 0.65, \text{ звідки } H=22\text{см і } b=14\text{см.}$$

Знаходимо діаметр (номінальний) ободу

$$d = D - 2H = 83.2 - 2 * 22 = 39.2\text{см.}$$

Підставивши, отримаємо

$$B_r = \frac{22 - 0.46 \cdot 14}{0.713} = 21.3\text{см}$$

$$Q = 0.1445 * 2.7^{0.585} * 21.3^{1.39} (39.2 + 21.3) = 11800\text{Н} = 11.8\text{кН},$$

що перевищує фактичне вертикальне навантаження на колесо=10304Н.

3.4 Кінематичні та силові розрахунки [2, 3, 5]

3.4.1 Розрахунок механізму підіймання культиватора

Щоб провести розрахунки на міцність окремих вузлів і елементів конструкції, необхідно знати величину сили, яка на них впливає. Використаємо силову схему для визначення реакцій, див рис. 3.6.

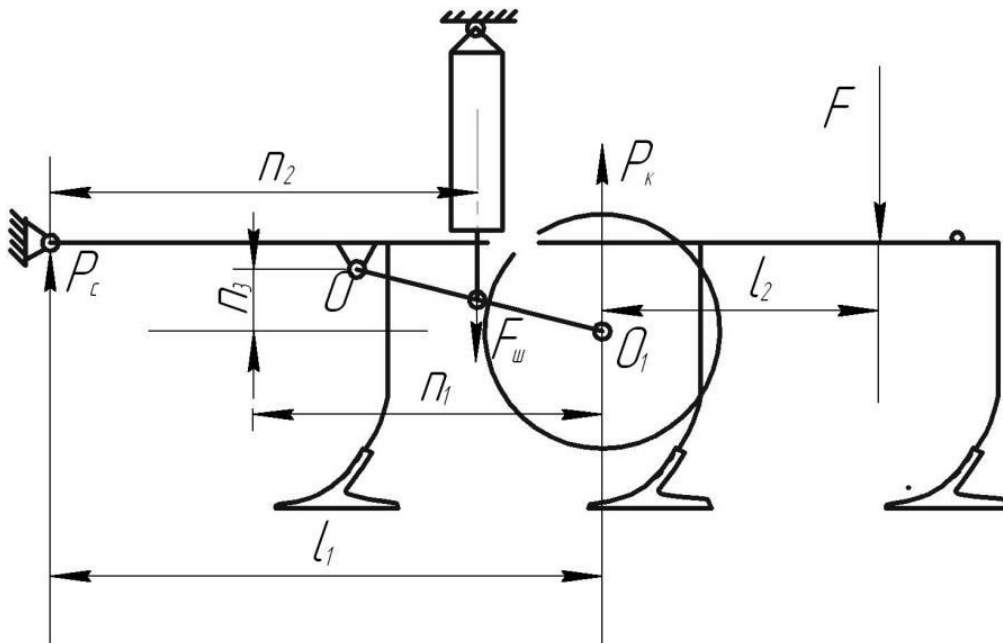


Рис. 3.5- Схема механізму підіймання робочих органів культиватора

Запишемо рівняння рівнодіючих сил

$$F = G + Q + Q_1 \quad (3.10)$$

де G - вага культиватора;

Q – вага ґрунту, який знаходиться на робочих органах;

Q_1 – зусилля, яке витрачено на відрив шару ґрунту.

Визначимо масу ґрунту на робочих органах

$$Q = a \cdot v^2 \cdot \text{ctg} \alpha \gamma \cdot q \cdot n / 2 \quad (3.11)$$

де a - глибина обробки ґрунту;

v - ширина захвату однієї лапи;

n - кількість лап;

q - питома вага ґрунту.

Щоб відірвати шар ґрунту, необхідне зусилля, знайдемо його так

$$Q \sim Q_1$$

Таким чином $F = G + 2(a \cdot v^2 \cdot \text{ctg} \alpha \gamma \cdot q \cdot n / 2)$

Тоді маємо

$$F = 1150 + 2(0,20 \cdot 0,42^2 \cdot 1,38 \cdot 1500 \cdot 11 / 2) = 2060,8 \text{ кг} = 20608 \text{ Н}$$

Знайдемо реакції на серзі причепу і колесах

$$P_k = F(l_1 + l_2) / l_1 \quad (3.12)$$

$$P_c = F \cdot l_2 / l_1 \quad (3.13)$$

Підставляємо отримані значення

$$P_k = 20608(2900 + 220) / 2900 = 22171 \text{ Н}$$

$$P_c = 20608 / 2900 \cdot 220 = 1563 \text{ Н}$$

Знайдемо зусилля, необхідне для переведення культиватора в транспортний стан з робочого

$$F_{ш} = [(P_k - G_k) \cdot n_1 - P_k \cdot f \cdot n_3] / n_2 \quad (3.14)$$

де G_k – вага двох коліс;

f – коефіцієнт опору колеса, приймаємо $f = 0,15$

Отже

$$F_{ш} = [(22171 - 1400) \cdot 0,8 - 22171 \cdot 0,15 \cdot 0,26] / 2,2 = 7159,7 \text{ Н}$$

Тепер, використовуючи отримане значення, обираємо гідроциліндр Ц 75×400, а зусилля для виштовхування (штоку) - 18500 Н

Розраховуємо запас зусилля

$$\Delta = \frac{18500}{7159,7} = 2,58$$

Отриманий запас зусилля -достатній. Надійна робота культиватора-забезпечена.

3.5 Енергетичний розрахунок [3, 7]

Проведемо перевірку можливості агрегувати культиватор з енергетичним засобом (трактором) III класу, якщо обладнати 3 щілинорізами

$$R_K = R_k + R_{\text{л}} + R_{\text{ч}} \quad (3.15)$$

де R_k – опір коліс культиватора по розпушеному ґрунту;

$R_{\text{л}}$ – опір лап культиватора;

$R_{\text{ч}}$ - опір лап - щілинорізів

Визначимо зусилля, необхідне щоб перекочувати колеса

$$R_k = 0,86 \cdot 3 \sqrt[3]{\frac{Q^4}{q_0 b D^2}} \quad (3.16)$$

де Q - навантаження на колесо, 10,3кН ;

q – питомий опір ґрунту, 0,12МПа;

b – ширина ободу колеса;

D – діаметр колеса.

Підставимо значення

$$R_k = 0,86 \cdot 3 \sqrt[3]{\frac{10304^4}{0,12 \cdot 0,22 \cdot 0,84^2}} = 578,8 \text{ кг} = 5788 \text{ Н}$$

Знаходимо загальний опір всіх лап культиватора

$$R_{\text{л}} = q \cdot B = 400 \cdot 4 = 1600 \text{ кг} = 16000 \text{ Н}$$

Встановлені додаткові 3 щілинорізи, окрім робочих (плоскорізних) органів, класифікуємо глибокорозпушувачами. Глибина роботи щілиноріза - 25 сантиметрів, що забезпечать ширину (сумарну) захвату. Це є аналог чизельного робочого органу 0,7 метрів. Тяговий (питомий) опір – 700 кілограм на метр. Тоді маємо

$$R_{\text{ч}} = 0,7 \times 700 = 490 \text{ кг} = 4900 \text{ Н}$$

Знаходимо для культиватора опір (загальний)

$$R_{\text{к}} = 578,8 + 16000 + 4900 = 26688 \text{ Н} = 26,688 \text{ кН}$$

Отримали достатнє зусилля для трактора Т-150, адже порівнявши з його характеристиками (28.45 кН), маємо $26.688 < 28.45$. Запас, що отримали, для додаткових органів (робочих). Якщо є потреба працювати з важкими ґрунтовими умовами, використаємо або понижені швидкості, або агрегуємо трактор класу V.

3.6 Розрахунок на міцність [11, 21]

3.6.1 Розрахунок стояка щілиноріза на міцність

Проведемо контрольний розрахунок стояка робочого органу на початковий момент, що впливає на критичний перетин, див.рис.3.7, А-А.

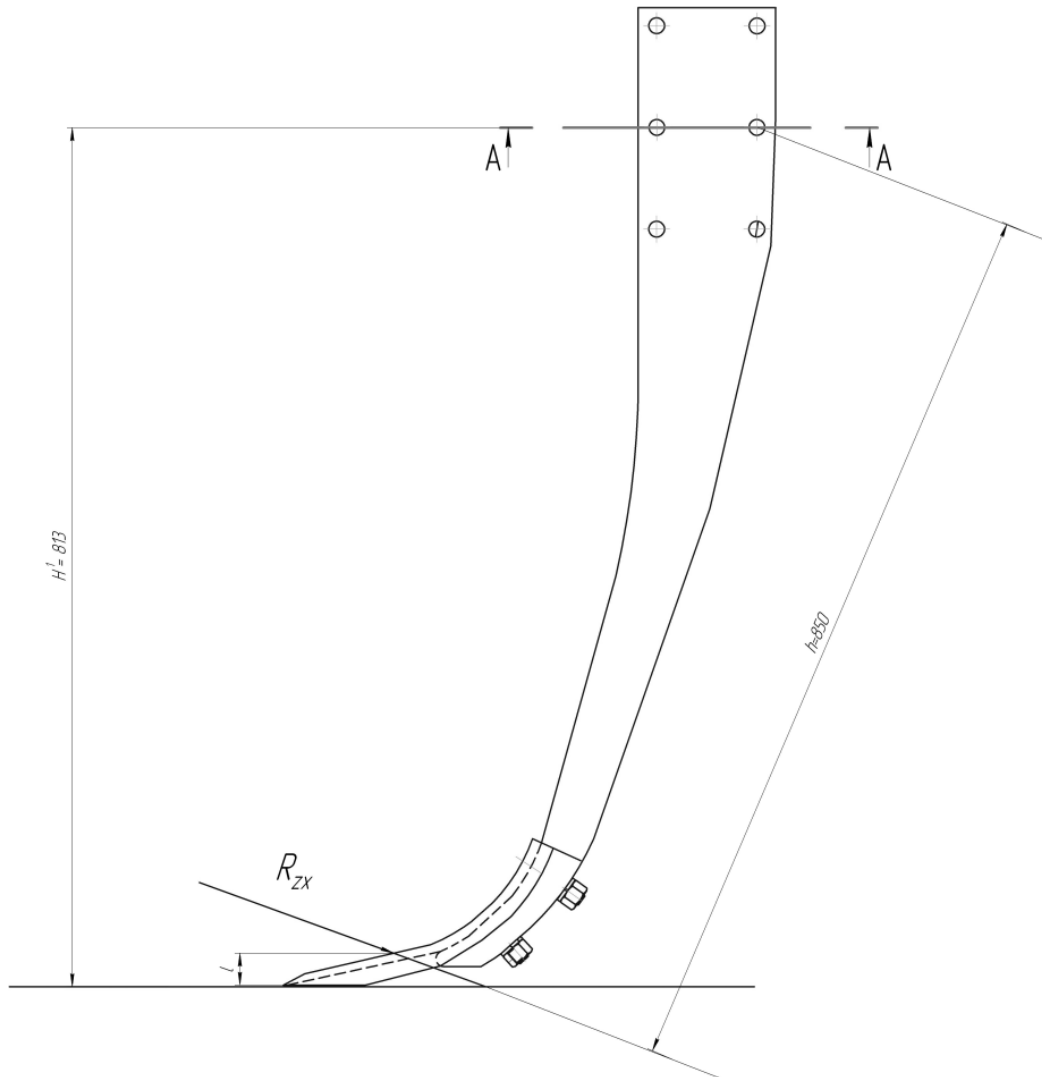


Рисунок 3.7 – Розрахункова схема стояка щілиноріза

Беремо із креслень стояка щілиноріза $H=813\text{мм}; h=850\text{мм}$.

Знайдемо момент згину (максимальний), переріз А-А

$$M_n = R_{xz} \cdot h = 1,63 \cdot 0,85 = 1,39 \text{кН} \cdot \text{м} = 1390 \text{Н} \cdot \text{м} \quad (3.17)$$

Знайдемо у перетині А-А момент опору, див рис.3.8

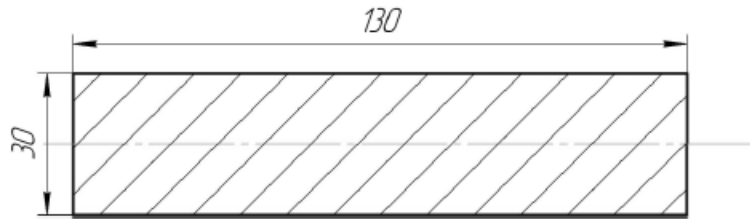


Рисунок 3.8 – Розрахункова схема параметрів перерізу А-А

Момент інерції перетину прямокутника відносно осі Z_1 , яка проходить через його центр тяжіння

$$I_{z1} = \frac{bh^3}{12} = \frac{3 \cdot 13^3}{12} \approx 549 \text{см}^4 \quad (3.18)$$

Знаходимо площу перетину (поперечного)

$$F_{np} = bh = 3 \cdot 13 = 39 \text{см}^2 \quad (3.19)$$

Застосуємо систему координат xz_1 для визначення статичного моменту

$$S_{z1} = F_{np} \cdot x_{np} + F_{xp} \cdot x_{xp} = 39 \cdot 0 + 7,1 \cdot (6,5 + 1,5) = 56,8 \text{см}^3 \quad (3.20)$$

Далі знаходимо абсцису центру тяжіння

$$x_c = a_1 = \frac{S_z}{F} = \frac{S_t}{F_{np} + F_{xp}} = \frac{56,8}{39 + 7,1} = 1,23 \text{см} \quad (3.21)$$

Отже розраховуємо момент інерції (головний) відносно нейтральної вісі стійки z

$$I_z = I_{z1} + a_1^2 F_{np} + I_{z2} + a_2^2 F_{xp} =$$

$$= 549 + 1,23^2 \cdot 39 + 4 + (6,5 + 1,5 - 1,23)^2 \cdot 7,1 = 937,2 \text{см}^4$$

Абсциси точок (крайніх) А та В

$$x_A = h/2 + a_1 = 6,5 + 1,23 = 7,73 \text{см}. \quad (3.22)$$

$$x_B = h/2 + d - a_1 = 6,5 + 3 - 1,23 = 8,27 \text{см}. \quad (3.23)$$

Тому що $x_B > x_A$, то для визначення осьового моменту опору вибираємо $x_{\max} = x_B = 8,27 \text{см}$

Знаходимо

$$W_{\min} = \frac{I_z}{x_B} = \frac{937,2}{8,27} = 113,33 \text{ см}^3 \quad (3.24)$$

Нормальне напруження, точка (крайня) В, перетину А-А

$$\sigma_{\max} = \frac{M_a}{W_{\min}} = \frac{1390}{113,3 \cdot 10^{-6}} \approx 12,3 \cdot 10^6 \text{ Па} = 12,3 \text{ МПа} \quad (3.25)$$

Допустиме напруження для сталі 45 при згині та пульсуючому навантаженні $[\sigma] = 125 \text{ МПа}$.

Таким чином $\sigma_{\max} < [\sigma]$ і міцність стояка забезпечена.

3.6.2 Розрахунок болтового кріплення робочих органів до рами плуга

Кріплення робочого органу до рами здійснюється за допомогою болтового з'єднання – 4 болта М 14. Працюють болти так: два- на зріз, 2 -забезпечення вертикального положення стояку, поставлені без зазору. Будемо розраховувати болт на напруження зрізу за умовою міцності

$$\tau = \frac{4F}{\pi d_c^2 i} \leq [\tau], \quad (3.26)$$

де F– сила, яка діє на один болт, Н (вважаємо, що навантаження розподілено між болтами рівномірно, тому приймаємо

$$F = R_{zx}/2 = 1,63/2 = 0,815 \text{ кН} = 815 \text{ Н};$$

d_c – діаметр стержня болта, м ($d_c = 0,014 \text{ м}$);

i – кількість площин зрізу ($i=1$)

$[\tau]$ – допустиме дотичне напруження матеріалу болта, Мпа (для сталі 20кп приймаємо

$$[\tau] = 0,2 \sigma_T = 0,2 \cdot 300 = 60 \text{ МПа} \quad (3.27)$$

Тоді

$$\tau = \frac{4 \cdot 815}{\pi \cdot 0,014^2 \cdot 1} = 5,4 \text{ МПа} < [\tau]$$

Отже, міцність болтового з'єднання – забезпечено.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ [18]

4.1 Особливості умов праці при вирощування ярої пшениці

Охорона праці при вирощуванні ярої пшениці включає комплекс робіт, які забезпечать умови праці, знижують ризики виробничого травматизму та запобігання професійним захворюванням. Дотримання норм і правил охорони праці є необхідними умовами ефективного та безпечного виконання сільськогосподарських робіт.

Вирощування ярої пшениці є одним із визначених напрямків сільськогосподарського виробництва. Роботи, пов'язані з її обробітком, забезпечуються в різних погодних і технологічних умовах, що значною мірою впливає на умови праці. Сільськогосподарські працівники піддаються впливу як природних, так і техногенних факторів, які можуть створювати ризики для їх здоров'я та безпеки.

Однією з головних особливостей умов праці в рослинництві є постійний вплив погодних умов. У процесі вирощування ярої пшениці робітники забезпечують польові роботи в різні періоди року, що виконують:

- Високі температури влітку, що можуть призвести до перегрівання речовин, зневоднення та сонячних опіків.
- Підвищену вологість під час ранньовесняних польових робіт, яка може спричинити переохолодження, особливо при вітряній погоді.
- Тривале перебування під впливом сонячного випромінювання, що закінчується ризиком теплового удару та захворювань шкіри.

Робота в умовах відкритого простору вимагає дотримання правил особистого захисту, зокрема носіння головних уборів, використання спеціального одягу та забезпечення належного водного балансу речовин.

Довготривале фізичне навантаження без належних перерв може призвести до перевтоми, захворювань опорно-рухового апарату та серцево-судинної системи.

У період обробітку ґрунту, посіву та збирання врожаю у повітрі збільшується значна кількість пилу, що може спричинити захворювання органів

дихання. Крім того, використання засобів захисту рослин та мінеральних добрив створює ризик вдихання аерозолів, які можуть негативно впливати на здоров'я. Тривалий вплив пилу та хімічних речовин може стати причиною розвитку хворобливих реакцій, бронхітів і захворювань дихальної системи.

Для зниження ризику необхідно використовувати респіратори або захисні маски, а також дотримуватися норм і правил роботи з хімічними речовинами.

Під час вирощування ярої пшениці активно використовується сільськогосподарська техніка: трактори, культиватори, сівалки, обприскувачі, комбайни тощо. Це створює ризик травмування через:

- контакт із рухомими частинами механізмів;
- перекидання техніки на нерівній поверхні;
- попадання сторонніх предметів у робочі органи машин.

Запобігти нещасним випадкам після суворе дотримання правил безпеки, використання техніки лише у справному стані та проходження інструкторів працівниками.

Захист яро пшениці від бур'янів, хвороб і шкідників потребує застосування пестицидів, фунгіцидів та гербіцидів. Робота з цими речовинами створює ризик контакту з токсичними сполуками, які можуть викликати отруєння або можливі реакції.

Для безпечного застосування агрохімікатів необхідно дотримуватися таких правил:

- Використовувати спеціальний захисний одяг, рукавички, окуляри та респіратори.
- Дотримуватися норм внесення та строків очікування після обробки.
- Виконувати роботи у безвітряну погоду та уникати контакту хімікатів із відкритими ділянками шкіри.

4.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які можуть виникнути під час експлуатації культиватора

Аналіз факторів безпеки виробничого процесу, які можуть виникнути під час експлуатації культиватора, є етапом охорони праці у сільськогосподарському виробництві. До основних небезпечних факторів належать механічні пошкодження, які можуть виникнути внаслідок контакту з рухомими частинами агрегату, як такі робочі органи, кардіальні передачі та елементи кріплення. Висока швидкість обертання деталей, можливість пропускання кінцівок у зону обробки та наступ належних захисних кожухів підвищують ризик травматизму.

До фізичних факторів належить вплив підвищеного рівня шуму та вібрацій, які можуть спричинити втому, зниження уваги та, за тривалої дії, професійні захворювання. Тривала робота в умовах запиленості може негативно вплинути на органи дихання, особливо якщо культиватор використовується на сухих підставах, що спричиняє утворення великої кількості пилу.

Хімічні фактори пов'язані з усуненням контакту із залишками пестицидів, добрив та іншими хімічними речовинами, які застосовуються в сільському господарстві. Вдихання випарів або вилучення речовини на користь може викликати серйозні реакції, відірвання або захворювання захворювання.

Біологічні фактори включають можливий контакт з мікроорганізмами, спорами грибів, комахами або гризунами, які можуть стати джерелом інфекційних захворювань. Робота на відкритому повітрі також впливає на вплив метеорологічних умов, зокрема високої температури, прямих сонячних променів або вітру, що може спричинити перегрівання додаткових чи переохолодження.

Психофізіологічні фактори включають високу концентрацію уваги, фізичні навантаження та можливу монотонність роботи, що може призвести до зниження реакції оператора та підвищеного ризику нещасних випадків.

Для зменшення впливу зазначених факторів необхідно підтримувати правила безпеки техніки, використовувати засоби індивідуального захисту, тимчасово проходити інструкції та технічне обслуговування обладнання.

4.3 Розробка заходів по покращенню умов праці

Забезпечення безпечних і комфортних умов праці при вирощуванні ярої пшениці є фактором збереження здоров'я працівників та підвищення продуктивності. Для мінімізації впливу факторів небезпеки на виробництві, впроваджуються комплексні заходи, які охоплюють технічні, організаційні, санітарно-гігієнічні та соціальні аспекти.

Модернізація та оновлення технічних засобів

- Використання сучасної сільськогосподарської техніки з підвищеним рівнем комфорту для оператора (ергономічні крісла, шумоізоляційні кабіни, клімат-контроль).
- Застосування автоматизованих систем контролю та управління, що знижують фізичні навантаження на працівників.
- Використання техніки з низьким рівнем шуму та вібрацій.
- Забезпечення регулярного технічного обслуговування обладнання для зменшення ризиків несправностей і травм.

Зниження впливу пилу та хімічних речовин

- Впровадження системи пилопригнічення під час обробітку обґрунтування та збирання врожаю.
- Використання герметичних систем для внесення добрив та засобів захисту рослин.
- Впровадження технологій точного землеробства для оптимізації використання агрохімікатів.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА [19]

5.1 Мета економічного аналізу

Метою економічного обґрунтування є визначення ефективності впровадження модернізованого культиватора-щілиноріза в технологічний процес вирощування ярої пшениці в умовах фермерського господарства. Оцінюється вплив модернізованого агрегату на собівартість, продуктивність праці, витрати пального, трудозатрати та економічну доцільність інвестицій.

Вихідні дані для розрахунків

Показник	Одиниця виміру	Базовий культиватор	Модернізований культиватор-щілиноріз
Продуктивність праці	га/зм	8,0	10,5
Трудозатрати на 100 га	люд.-год.	450,0	348,7
Витрати пального на 100 га	ц	6,40	4,96
Собівартість обробітку 1 га	грн	1035	872
Урожайність ярої пшениці	ц/га	34,0	36,5
Ціна реалізації пшениці	грн/ц	5800	5800

5.2 Розрахунок економічного ефекту

Зменшення витрат пального

Економія пального на 100 га:

$$6,40 - 4,96 = 1,44 \text{ ц}$$

У грошовому еквіваленті (при ціні 1 ц пального \approx 4000 грн):

$$1,44 \times 4000 = 5760 \text{ грн}$$

Економія трудових ресурсів

Економія трудозатрат на 100 га:

$$450 - 348,7 = 101,3 \text{ люд.-год.}$$

При середній вартості 1 люд.-год. \approx 75 грн:

$$101,3 \times 75 = 7597,5 \text{ грн}$$

Зростання врожайності

Приріст урожаю: $36,5 - 34 = 2,5$ ц/га

Додатковий дохід з 100 га: $2,5 \times 5800 \times 100 = 1450000$ грн

Зниження собівартості

Економія на кожному гектарі: $1035 - 872 = 163$ грн/га

На 100 га: $163 \times 100 = 16300$ грн

Інтегральний економічний ефект

Сумарний економічний ефект впровадження модернізованого культиватора-щілиноріза (на 100 га):

- Економія пального: 5 760 грн
- Економія трудозатрат: 7 597,5 грн
- Зростання доходу від урожайності: 1 450 000 грн
- Зниження собівартості: 16 300 грн

Разом: 1 479 657,5 грн

5.3 Окупність удосконалення конструкції культиватора-щілиноріза

Для оцінки доцільності впровадження технічного удосконалення в конструкцію культиватора-щілиноріза необхідно розрахувати загальну вартість модернізації, визначити термін окупності та економічний ефект, який отримає господарство внаслідок експлуатації вдосконаленого агрегату.

Структура витрат на модернізацію

№	Стаття витрат	Вартість, грн
1	Виготовлення нових щілинорізальних робочих органів (4 шт.)	16 000
2	Матеріали для рами та кріплень	6 500
3	Оплата зварювальних і слюсарних робіт	8 000
4	Підсилення навішування та гідравліки	5 000
5	Доставка матеріалів та монтаж	3 500
6	Налаштування та випробування в полі	6 000
Разом		45 000 грн

Отже, загальна вартість модернізації становить 45 000 грн, що є одноразовими інвестиціями.

Розрахунок терміну окупності

Сумарний річний економічний ефект від застосування модернізованого культиватора-щілиноріза на площі 100 га (див. п. 5.2) становить: 1 479 657,5 грн/рік

Термін окупності визначаємо за формулою:

$$T_{ок} = C_{инв} / E_{ек} = 45000 / 1\,479\,657,5 = 0,03 \text{ року} \approx 1 \text{ днів}$$

Висновок: витрати на модернізацію повністю окупаються менше ніж за 2 тижні польових робіт на площі 100 га.

У разі застосування вдосконаленого агрегату на площах, що перевищують 100 га, ефект буде масштабуватись пропорційно, тоді як витрати залишаються фіксованими. Це дозволяє значно знизити собівартість обробітку одного гектара та підвищити загальну прибутковість підприємства.

Запропоноване технічне удосконалення культиватора-щілиноріза є надзвичайно економічно вигідним. Висока рентабельність інвестицій, короткий період окупності та значний прямий економічний ефект (свідчать про доцільність його впровадження в практику фермерських господарств. Модернізація дозволяє не тільки зменшити витрати, але й забезпечити стабільне підвищення урожайності та екологічну стійкість технології вирощування ярої пшениці.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Виробники сільськогосподарської продукції все більшу увагу приділяють питанням збереження природної родючості ґрунтів. В Україні дана проблема стоїть найбільш гостро. Одним із ефективних шляхів захисту ґрунтів від руйнування їх структури, вітрової та водної ерозії є широке впровадження технологій безвідвального обробітку ґрунту. Фактором, що стримує дані процеси є недостатня якість виконання ґрунтообробних процесів відомими знаряддями. Даний фактор потребує додаткових проходів по полю ряду простих знарядь, які призначені доводити агрегатний стан ґрунтів до рівня передбаченого агротехнічними вимогами, а це в свою чергу, потребує додаткових затрат енергії, людської праці і не сприяє захисту ґрунтів від руйнівних процесів під впливом рушіїв машин та їх робочих органів.

Поруч з даною проблемою залишається проблема надмірного переущільнення підорного горизонту, причиною якого є не тільки рушії важких сільськогосподарських машин, а й самі робочі органи. За таких умов виникає потреба поступового розпушування нижніх шарів ґрунту. Для цього можуть використовуватися щілинорізи в складі важких комбінованих культиваторів.

Обладнання важких комбінованих культиваторів додатковими робочими органами у вигляді щілинорізів з оригінальною робочою поверхнею здатне принаймні частково вирішити дану проблему.

Використання таких комбінованих ґрунтообробних машин дозволить підвищити загальну продуктивність виконання технологічного процесу, знизити кількість простих машин в системі, знизити негативний екологічний вплив на ґрунтове середовище та загальну собівартість виробництва продукції рослинництва, а за рахунок підвищення якості обробітку ґрунту і сприяння накопиченню в ґрунті вологи забезпечить підвищення врожайності сільськогосподарських культур.

Удосконалення традиційної технології вирощування ярої пшениці шляхом використання для основного обробітку ґрунту комбінованого культиватора-щілиноріза дозволить підвищити продуктивність праці на 10,5 га/зм, знизити

затрати праці на 101,3 люд. год., а також зменшити витрати пального на 1,44 ц. в розрахунку на 100 га площі.

Проведене економічне обґрунтування підтверджує доцільність впровадження модернізованого культиватора-щілиноріза в процес основного обробітку ґрунту під яру пшеницю. Отримані результати демонструють зниження експлуатаційних витрат, скорочення трудозатрат, економію пального та зростання урожайності, що в комплексі забезпечує високу економічну ефективність і швидке повернення інвестицій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методика розробки операційної технології механізованих польових робіт/ Г. І. Барабаш, В. М. Зубко, О. Г. Барабаш, Т. В. Хворост. – Суми: ТОВ "Друкарський дім "Папірус", 2016. – 130 с.
2. Войтюк Д. Г. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: навчальний посібник. – Університетська книга, 2020. – 543 с.
3. Харченко С. О., Адамчук О. В., Козаченко О. В., Бакум М. В., Сировицький К. Г., Абдуєв М. М., Харченко Ф. М. Експлуатація та сервіс техніки. Частина II. Трактори навч. посібник / За ред. С. О. Харченка. – Харків : ДБТУ, 2020. – 115 с
4. Войтюк, Д. Г. Сільськогосподарські та меліоративні машини: підруч. / Д. Г. Войтюк, В. О. Дубровін, Т. Д. Іщенко та ін.; за ред. Д. Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2021. – 544 с.
5. Feledyn-Szewczyk, B., Jończyk, K., & Stalenga, J. (2024). The Effect of Crop Production Systems and Cultivars on Spring Wheat (*Triticum aestivum* L.) Yield in a Long-Term Experiment. *Agriculture*, 14(4), 625. <https://doi.org/10.3390/agriculture14040625>
6. Wang, X., et al. (2024). Research on the application method of agricultural machinery engineering automation based on multimodal characteristics. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 9(1). <https://doi.org/10.2478/amns-2024-2137>
7. Solovyov, O., et al. (2024). Spring Wheat Productivity and Profitability Under Various Crop Rotations in Northern Kazakhstan's Chernozem. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 19(1), 16-23. <https://doi.org/10.18280/ijdne.190116>
8. Moghimi, A., Yang, C., & Anderson, J.A. (2019). Aerial hyperspectral imagery and deep neural networks for high-throughput yield phenotyping in wheat. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 319–327. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.04.003>

9. Xie, Q., et al. (2024). A hob-type smart weeding machine for use in wheat fields: Towards a low power consumption and high-efficiency design. *Computers and Electronics in Agriculture*, 206, 107645.

<https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107645>

10. Lal, R., & Stewart, B.A. (2022). *Soil Management for Sustainability*. CRC Press

<https://www.routledge.com/Soil-Management-for-Sustainability/Lal-Stewart/p/book/9780367785160>

11. Колісник М. В., Левчук В. В. Технічний сервіс в агропромисловому комплексі : курс лекцій зі спеціальності 208 «Агроінженерія». – 2022. – 382 с.

12. Паладійчук Ю.Б., Телятник І.А.. Підвищення ефективності технологій та технічних засобів контролю якості відновлення двигунів малогабаритної техніки *Техніка, енергетика, транспорт АПК*, № 1 (112) / 2021, С. 137-151

13. Булигін, С. В., Вітвицький, С. В., Булигіна, М. Ю., Вітвицька, О. І. Режим зволоження чорнозему звичайного за технології «no-till» / С. В. Булигін, С. В. Вітвицький, М. Ю. Булигіна, О. І. Вітвицька // *Рослинництво та ґрунтознавство*. – 2021. – Т. 12, № 4. – С. 91–101. – DOI: 10.31548/agr2021.04.0091

14. Tkachuk, O. V., & Kostiuk, V. V. Tillage effects on humus content in the soils of Ukraine: A meta-analysis of current scientific evidence / O. V. Tkachuk, V. V. Kostiuk // *Medicni Perspektivi*. – 2023. – Vol. 28, No. 2. – P. 45–52. – DOI: 10.26641/2307-0404.2023.2.282905.

15. Шулятьєв, Д. Ю. Про безвідвальний обробіток ґрунту / Д. Ю. Шулятьєв // *Вісник Сумського національного аграрного університету*. – 2020. – № 1. – С. 8–12. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://repo.snau.edu.ua/bitstream/123456789/9164/1/Шулятьєв%20Д.%20Ю.%20Про%20безвідвальний%20обробіток%20ґрунту.pdf>.

16. Вербицький, Я. В. Вплив різних видів основного обробітку ґрунту на фітосанітарний стан поля під посів соняшника / Я. В. Вербицький // *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. – 2023. – № 1. – С. 45–50. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

https://journals.pdu.khmelnitskiy.ua/index.php/podilian_bulletin/article/download/202/175/418.

17. Tkachuk, O. V., & Kostiuk, V. V. Biological activity of soils in Ukraine depending on tillage options: A meta-analysis / O. V. Tkachuk, V. V. Kostiuk // *Medicni Perspektivi*. – 2023. – Vol. 28, No. 1. – P. 30–37. – DOI: 10.26641/2307-0404.2023.1.282905.

18. Курепін В. М., Горбунова К. М., Курепін В. М. Охорона праці в галузі та цивільний захист: навч. посібник. – Миколаїв: МНАУ, 2020. – 266 с.

19. Петрига О. М., Яворська Т. І., Прус Ю. О. Економіка аграрного підприємства: навч. посібник / за ред. О. М. Петриги, Т. І. Яворської. – Херсон: ХДАУ, 2020. – 352 с.

20. Conservation tillage: a way to improve yield and soil properties and decrease global warming potential in spring wheat agroecosystems. 2024. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2024.1352467/full> (дата звернення: 24.05.2025).

21. Cultivation for soil health, cereal crop rooting and yield. [Б.д.]. AHDB. [Електронний ресурс]. URL: <https://ahdb.org.uk/cultivation-for-soil-health-cereal-crop-rooting-and-yield> (дата звернення: 24.05.2025).

22. Decomposing the Impact of Agricultural Mechanization on Agricultural Output Growth: A Case Study Based on China's Winter Wheat. 2025. MDPI. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/2/1410> (дата звернення: 24.05.2025).

23. Effect of conservation tillage on yield of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) and soil mineral nitrogen and carbon content. 2021. International Agrophysics. [Електронний ресурс]. URL: <https://journals.pan.pl/dlibra/publication/140222/edition/121703/content> (дата звернення: 24.05.2025).

24. Growing Wheat: Optimal Conditions, Timing, & Techniques. 2023. EOS Data Analytics. [Електронний ресурс]. URL: <https://eos.com/blog/growing-wheat/>

25. No-tillage Seeding in Conservation Agriculture. [Б.д.]. FAO (Продовольча та сільськогосподарська організація ООН). [Електронний ресурс]. URL: <https://www.fao.org/conservation-agriculture/field-tools/no-tillage-seeding/en/>

26. Пшениця яра: заходи обробітку ґрунту та система удобрення. 2023. Агрономія сьогодні. [Електронний ресурс]. URL: <https://agronomy.com.ua/statti/zernovi-kultury/1434-pshenytsia-iara-zakhody-obrobitku-gruntu-ta-systema-udobrennia.html>

27. Черенков А. В., Рибка В. С., Шевченко М. С. та ін. Вплив різних способів основного обробітку ґрунту на врожайність зерна ячменю ярого в умовах. Дніпро, 2022. 806 с. [Електронний ресурс]. URL: <https://dspace.dsau.dp.ua/bitstream/123456789/9166/1/1.pdf>

28. Чорний С. Г., Волошенюк А. В. Показники продуктивності та якості зерна озимої пшениці залежно від обробіток ґрунту й удобрення. Агробізнес сьогодні. 2023. № 18 (472). [Електронний ресурс]. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/27855-pokaznyky-produktyvnosti-ta-iaakosti-zerna-ozymoi-pshenytsi-zalezhno-vid-obrobitkiv-gruntu-i-udobrennia.html>

29. Наталія Демчук. Яра пшениця в сівозміні: обробіток ґрунту, система удобрення, сівба та система захисту. 2020. Superagronom.com. [Електронний ресурс]. URL: <https://superagronom.com/articles/441-yara-pshenitsya-v-sivozmini-obrobitok-gruntu-sistema-udobrennya-sivba-ta-sistema-zahistu>

ДОДАТКИ