

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Допущений до захисту:
зас. зав. кафедри АІ та ТС
к.т.н., доцент Труханська О.О.

« ___ » листопада 2021 р.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ
ПОКАЗНИКІВ АГРЕГАТУ ДЛЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр»
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

Виконав: студент групи 61-АІ-Маг
Ковальчук Дмитро Анатолійович

Керівник: к.т.н., професор
Середа Леонід Павлович

Вінниця – 2021 р.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	5
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ	10
1.1 Сучасний стан ґрунтів сільськогосподарського призначення	10
1.2 Аналіз інноваційних технологій обробітку ґрунту та можливість їх впровадження	13
1.3 Аналіз конструктивних особливостей ґрунтообробних агрегатів для реалізації обробітку ґрунту за технологією Strip-till	19
1.4 Аналіз конструктивних особливостей секцій робочих органів агрегатів для реалізації обробітку ґрунту за технологією Strip-till.....	23
1.5 Висновки до розділу, мета та цілі дослідження.....	25
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТООБРОБНОГО АГРЕГАТУ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЇ STRIP-TILL	27
2.1 Основні агротехнічні вимоги до передпосівного обробітку ґрунту за технологією Strip-till	27
2.2 Обґрунтування параметрів стрілкової лапи та трубчатого прикочувального катка.....	31
2.3 Обґрунтування конструктивних параметрів секції фрезерного барабану ґрунтообробного агрегату	43
2.4 Математичне моделювання процесу роботи ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till.....	48
2.5 Удосконалення математичної моделі процесу роботи ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till	54
2.6 Загальні висновки до розділу 2.....	59
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ҐРУНТООБРОБНОГО АГРЕГАТУ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЇ STRIP-TILL	60
3.1 Програма та методика проведення дослідження	60
3.2 Результати оптимальних параметрів ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till	61
3.3 Результати енергетичних показників ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till	65
3.4 Результати паливної економічності ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till	66

3.5 Результати затрати потужності ґрунтообробної фрези на фрезерування ґрунту.....	69
3.6 Загальні висновки до розділу 3.....	71
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ҐРУНТООБРОБНОГО АГРЕГАТУ ДЛЯ STRIP-TILL ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ У ВИГЛЯДІ СТАРТАПУ.....	72
4.1 Обґрунтування напрямку впровадження.....	72
4.2 Розробка та обґрунтування конструктивно-технологічної схема ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till у вигляді стартапу	74
4.3 Економічна ефективність від впровадження Strip-till технології обробітку ґрунту.....	83
4.4 Загальні висновки до розділу 4:.....	90
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	91
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	93

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота на тему: «Дослідження техніко-експлуатаційних показників агрегату для сучасних технологій обробітку ґрунту» складається із вступу, чотирьох розділів розрахунково-пояснювальної записки, висновків, списку використаних джерел.

Магістерська робота присвячена вирішенню актуальної проблеми землеробства країни, пов'язану із стрімким падінням показника потенційної родючості ґрунтів, шляхом впровадження Strip-till технології обробітку ґрунту в умовах сучасних господарств країни, за рахунок розробки конструктивно-технологічної схеми ґрунтообробного агрегату для її реалізації.

В процесі аналізу стану земель сільськогосподарського призначення, встановлено, що під час використання традиційної технології обробітку ґрунту відбувається стрімке падіння потенційної родючості ґрунтів. Альтернативою даної проблеми є впровадження сучасних ґрунтозберігаючих технологій.

В другому розділі обґрунтовано параметри робочих органів ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till на основі теоретичного аналізу, що дозволили отримати аналітичні залежності для визначення ступеня розпушування та підготовки ґрунту до посіву за технологією.

У третьому розділі описано програму та методику проведення досліджень ґрунтообробного агрегату. Висвітлено результати його показників роботи.

В останньому розділі роботи запропоновано конструктивно-технологічну схему ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till. Визначена економічна ефективність впровадження Strip-till технології.

Використання запропонованої конструктивно-технологічної схеми ґрунтообробного агрегату за Strip-till технологією дозволить зберегти потенційну родючість ґрунтів, за рахунок обробітку ґрунту без виносу родючого шару на поверхню ґрунту.

Ключові слова: сучасні технології, Strip-till технологія, збереження родючості, ґрунтообробний агрегат, розораність, потенційна родючість.

ANNOTATION

Master's thesis on the topic: "Study of technical and operational indicators of the unit for modern tillage technologies" consists of an introduction, four sections of the calculation and explanatory note, conclusions, list of sources used.

The master's thesis is devoted to solving the current problem of agriculture, associated with a sharp decline in potential soil fertility, through the introduction of Strip-till tillage technology in modern economies, by developing a design and technological scheme of tillage for its implementation.

In the process of analyzing the state of agricultural lands of the country, it is established that currently with the use of traditional tillage technology there is a rapid decline in potential soil fertility. In addition, modern alternative conservation technologies of tillage are analyzed.

The second section substantiates the main parameters of the working bodies of the tillage unit for Strip-till technology on the basis of theoretical analysis, which allowed to obtain analytical dependences to determine the degree of loosening and soil preparation for sowing using Strip-till technology.

The third section describes the program and methods of research of the tillage unit and the results of its main indicators.

In the last section of the work the constructive-technological scheme of the tillage unit for Strip-till technology is offered and substantiated. The economic efficiency of Strip-till technology implementation is substantiated.

The use of the proposed design of the tillage unit by Strip-till technology will preserve the potential fertility of the soil, due to tillage without removing the fertile layer on the soil surface.

Key words: modern technologies, Strip-till technology, fertility preservation, tillage unit, plowing, potential fertility.

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний агропромисловий комплекс України характеризується застосуванням різноманітних технологій виробництва продукції, а саме технологіями по обробітку ґрунту, технологіями посіву та ін. Але, вітчизняне сільськогосподарське виробництво зіткнулось із серйозною проблемою, пов'язаною із стрімким зниженням потенційної родючості ґрунтів.

На даний час в країні домінує традиційна технологія обробітку ґрунту, яка потребує переосмислення із подальшою заміною на інноваційні технології, через стрімку втрату потенційної родючості ґрунту, підвищення ерозійних процесів, падіння врожайності. Окрім цього, при застосуванні традиційної технології на постійну глибину утворюється плужна підшва та суттєве ущільнення ґрунту.

Найважливішим завданням агропромислового комплексу України на сьогодні є збереження ґрунту від деградації. Актуальним напрямком розвитку агропромислового комплексу України є пошук та впровадження раціональних технологій обробітку ґрунту, які орієнтовані на збереження родючого потенціалу земель країни, із проектуванням та реалізацією нових конструктивних рішень ґрунтообробної техніки. Таким чином, формування матеріально-технічної бази для збереження основного показника ґрунту як гумус під час обробітку є стратегічно важливим напрямком розвитку землеробства в Україні.

Робоча гіпотеза – впровадження Strip-till технології обробітку ґрунту в господарствах країни значно підвищить продуктивність машинно-тракторних агрегатів та дозволить знизити витрату пального для обробітку ґрунту, в порівнянні із традиційною технологією обробітку, при цьому поєднуючи в комплексі глибину обробітку ґрунту та дози внесення добрив в ґрунт дасть можливість зберегти ґрунтову родючість та підвищить врожайність посівних культур.

Метою роботи – є збереження потенційної родючості ґрунтів за рахунок впровадження Strip-till технології обробітку ґрунту шляхом розробки конструктивно-технологічної схеми комбінованого ґрунтообробного агрегату.

У зв'язку з високовартісною технікою іноземного виробництва, метою роботи є також впровадження технології за рахунок виготовлення власної техніки.

Для досягнення мети, необхідно виконати наступні задачі дослідження:

1) Провести аналіз сучасного стану ґрунтів сільськогосподарського призначення та проаналізувати сучасні технології обробітку ґрунту із можливістю їх впровадження, описати конструктивні рішення для їх реалізації.

2) Проаналізувати агротехнічні вимоги до обробітку ґрунту за технологією Strip-till, провести теоретичне обґрунтування параметрів робочих органів ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till, удосконалити математичну модель обробітку ґрунту за вихідними показниками роботи ґрунтообробного агрегату стосовно Strip-till технології обробітку ґрунту.

3) Описати методику проведення досліджень, провести експериментальні та лабораторні дослідження ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till.

4) Розробити конструктивно-технологічну схему ґрунтообробного агрегату для Strip-till технології обробітку ґрунту, обґрунтувати економічну ефективність впровадження Strip-till технології в господарствах країни.

Об'єкт дослідження – технологічний процес обробітку ґрунту за технологією Strip-till в умовах господарств України, робочі органи розробленого ґрунтообробного агрегату для Strip-till технології.

Предмет дослідження – зміна якісних агротехнічних параметрів обробітку ґрунту, водний і повітряний режим, врожайність посівних культур та економічна ефективність від впровадження Strip-till технології.

Методологія та методи дослідження. Математичні методи моделювання процесу роботи ґрунтообробного агрегату, статистики, використання основних положень теоретичної механіки. Дослідження проводились відповідно до існуючих методів та теорії планування багатофакторного експерименту із застосуванням програмного забезпечення Statistica, КОМПАС, Excel, MathCad, Word.

Наукова новизна отриманих результатів:

– запропоновано математичну модель процесу роботи ґрунтообробного агрегату для Strip-till технології обробітку ґрунту;

– запропоновано конструктивно-технологічну схему комбінованого ґрунтообробного агрегату для Strip-till технології обробітку ґрунту.

Практичне значення отриманих результатів. Полягає у впровадженні запропонованої конструктивно-технологічної схеми ґрунтообробного агрегату для виконання обробітку ґрунту за технологією Strip-till в умовах господарств країни на основі отриманих даних в процесі його випробувань.

Апробація результатів роботи. Основні положення доповідались на VII Всеукраїнській науково-практичній конференції ЛНТУ «Інноваційні технології в АПК» (м. Луцьк, 20-21 травня 2021 р.), студентській науково-практичній конференції ВНАУ «Молодіжна парадигма інноваційного розвитку аграрної сфери України» (м. Вінниця, 8 червня 2021 р.), Міжнародному конкурсі студентських наукових робіт «Аграрні науки та продовольство» за спеціальністю 208 “Агроінженерія” (м. Миколаїв, 10-11 червня 2021 р.).

Публікації. Під час виконання магістерської роботи, основні результати опубліковані: 4 статті у наукових виданнях ВНАУ [16,17,31,33], 1 тези доповідей конференції [32].

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Сучасний стан ґрунтів сільськогосподарського призначення

Нині Україна завдяки своєму ґрунту друга за площею країна в Європі. Ґрунти України (чорноземи) є надзвичайно родючими та багатими на органічну речовину як гумус. Чорнозем, який займає трохи більше ніж половину всієї території країни, створює оптимальні агрономічні умови, для вирощування широкого спектру культур рослинного походження.

В країні під сільським господарством зайнято близько 93% території земель, які мають великий потенціал у вирощуванні основних продовольчих культур, але проблемою є суттєво високий рівень розораності земель, який становить понад 61%, що в свою чергу, призводить до втрати потенційної родючості [2,5,24].

Аналізуючи картограму ДУ “Інститут охорони земель України” (рис. 1.1), при інтенсивному механічному впливі на ґрунт, відбувається суттєвий вплив на зменшення родючості, у зв’язку із його переміщенням, руйнуванням оптимальної структури, водопроникністю та аераційною здатністю [2,24,36].



Рисунок 1.1 – Рівень вмісту гумусу ґрунтів України
(статистичні дані [2] станом на 01.01.2020 р.)

Виходячи з картограми ДУ “Інститут охорони земель України”, бачимо те, що вміст гумусу в ґрунтах сільськогосподарського призначення України (період з 2018-2020) зменшився на 0,37% в абсолютних величинах та становить 3,19.

Вміст гумусу в ґрунті по областях України становить: найвищий вміст гумусу мають ґрунти Харківської обл. (4,10%), Кропивницька обл. (4,10%), а найнижчий – Волинська обл. (1,56%), Житомирська обл. (2,01%). Тим часом Вінницька обл. (2,7%), що є середнім показником, але, при інтенсивній технології обробітку ґранту цей показник буде поступово зменшуватись [2,24,36].

Окрім цього, для України є також серйозна проблема пов’язана з ерозією ґрунтів. Аналізуючи рівень розораності земель в країні за даними ДУ “Інститут охорони земель України” (рис. 1.2) бачимо, що він є найвищим в світі, та досягає приблизно 63% території країни та майже 86% сільськогосподарських угідь. Таким чином, це приводить до великих територій із незадовільними властивостями (деградовані чи малородючі) у структурі земель країни [2,24,36].

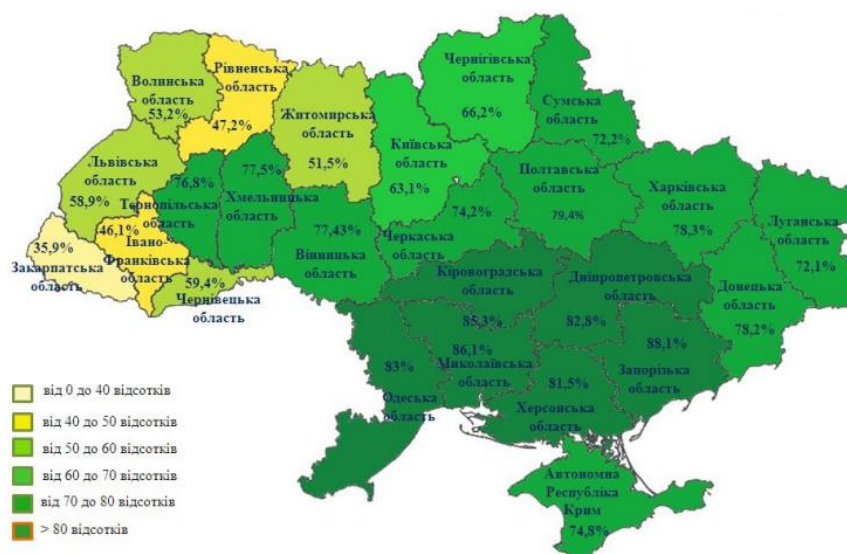


Рисунок 1.2 – Рівень розораності земель України
(статистичні дані [2] станом на 01.01.2020 р.)

Виходячи з картограми розораності ґрунтів бачимо, що особливо розорані території знаходяться на Півдні і в центральній Україні (під 92%). Найбільшу розораність сільськогосподарських угідь мають Запорізька, Дніпропетровська,

Миколаївська, Полтавська, Тернопільська, Донецька і Хмельницька область від 81 до 92%. Середні показники розораності мають наступні області, як Черкаська (74,2%), Кіровоградська (85,3%) і Вінницька (77,43%). Найнижчий рівень розораність ґрунтів у Закарпатській області, та становить – 35,9%.

Виходячи з цього, необхідно підкреслити те, що розораність великих територій спричиняє розвиток ерозійних процесів, як водних так і вітрових, внаслідок чого відбувається втрата верхнього родючого шару ґрунту, в рази зменшується ґрунтова товща, та саме основне це втрати гумусу і відповідно падіння потенційної родючості.

На даний час, для обробітку застосовується промислова технологія обробітку ґрунту, яка передбачає собою інтенсивний механічний вплив на ґрунту, що приводить до високого рівня розораності земель, окрім цього, порушення технології застосування добрив (що органічного характеру що мінерального), порушення сівозміни – все це призводить до погіршення структури ґрунтів, та суттєвого зменшення вмісту гумусу в ґрунтах [2,32,33].

Важливим моментом – при класичній технології обробітку ґрунту у повітря вивільняється значна кількість вуглекислого газу, під час оранки виділяється 54 кг/га CO_2 впродовж доби [32,34]. П'яту частину у збільшенні вмісту вуглекислого газу в атмосфері забезпечує сільське господарство.

Окрім цього, аграрна галузь України стає все вразливішою до зміни клімату: тривалої посухи, надзвичайно високих температур, нерівномірного та короткочасного надходження вологи у вигляді злив з подальшими посушливими періодами. Стресові фактори особливо негативно впливають на культури, які на початку вегетації не можуть протистояти руйнівній дії злив та суховіїв і потребують проведення заходів щодо збереження вологи та вирівняної динаміки їх надходження [2,32,33,35].

Водночас з цим, сільське господарство України потребує значної модернізації, осучаснення, впровадження інновацій. За різними оцінками частка впровадження високотехнологічних технологій в агросекторі становить 3-9% на підприємствах нашої держави або 12-16% від показників світових лідерів [28,32].

Пошук і впровадження сучасних технологій обробітку ґрунту, які б забезпечили підвищення ефективності виробництва рослинницької продукції, є надзвичайно актуальним етапом формування сучасного аграрного сектору країни. За дефіциту опадів необхідно адаптувати технології обробітку ґрунту під культури в напрямку максимального вологозбереження та вологонакопичення, що дає можливість отримувати стабільні врожаї та зменшити собівартість продукції.

Тому, запобігання втрати потенційної родючості ґрунту, можна досягти за рахунок впровадження раціональних (сучасних) або ґрунтозберігаючих технологій обробітку ґрунту, що знижують ерозійні процеси ґрунтів, зберігають їхню потенційну родючість, підвищують стійкість до посухи і значно зменшують виробничі витрати, мінімізуючи споживання пального.

1.2 Аналіз інноваційних технологій обробітку ґрунту та можливість їх впровадження

На даний час одним із основних напрямків розвитку землеробства в Україні є впровадження ґрунтозберігаючих технологій обробітку ґрунту, які направлені на збереження ґрунтових, біологічних та водних показників, окрім цього суттєвим фактором є зниження собівартості виробленої рослинницької продукції.

Сучасні технології землеробства в країні розвиваються в декількох напрямках, серед яких суттєве значення має покращення способів обробітку ґрунту для збереження та відновленні потенційної родючості. Основною метою проведення обробітку ґрунту є створення оптимальних умов для проростання та розвитку кореневої системи рослини, що забезпечить високу врожайність.

Сьогодні в агропромисловому комплексі обробіток ґрунту здійснюється за різними системами та технологіями, в залежності від ступеня покриття поверхні ґрунту рослинними залишками (рис. 1.3), в значній мірі ступінь покриття залежить від інтенсивності обробітку поверхні ґрунту [22,26,33].

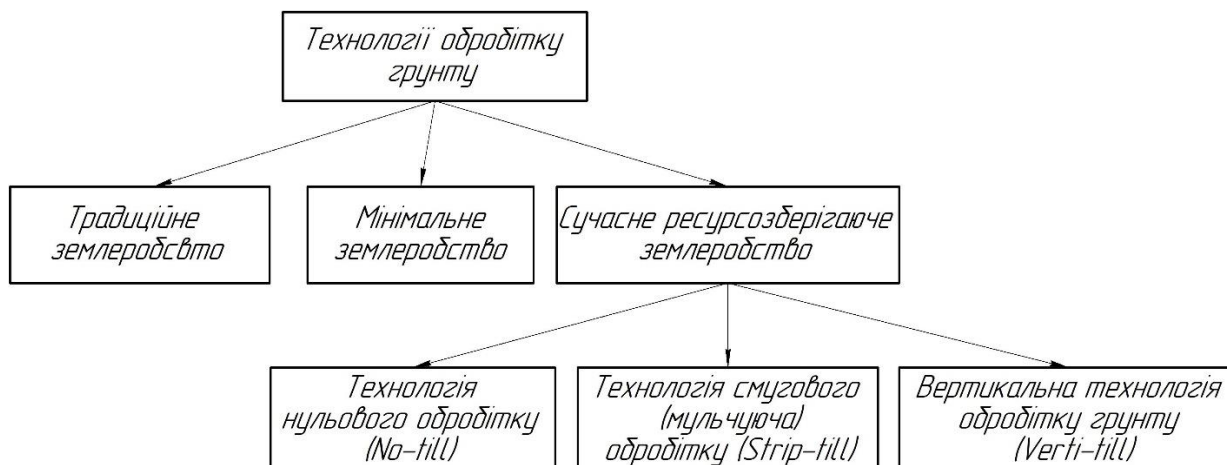


Рисунок 1.3 – Системи технологій обробітку ґрунту

При традиційній (промисловій) технології обробітку ґрунту з оборотом пласта, що досить часто використовується на території України, витрачається досить велика кількість енергетичних та фінансових ресурсів, але головним недоліком є зменшення важливого показника родючості ґрунту – гумусу. Крім того, у традиційній технології, при багаторазових проходах ґрунтообробних агрегатів відбувається ущільнення ґрунту та утворення плужної підшви після проходу орного агрегату, що негативно впливає на формування кореневої системи культурних рослин у глибину.

Технології мінімального землеробства включають в себе технології обробітку ґрунту (і посіву), при використанні яких більше 15-30% поверхні ґрунту залишається покрито пожнивними рештками (мульчою). Залишений на поверхні мульчуючий шар перешкоджає висиханню ґрунту і тим самим протистоїть утворенню ерозії.

Впровадження сучасних енерго- та ґрунтозберігаючих технологій (No-till, Strip-till, Mini-till) дає можливість зберегти родючий потенціал ґрунту за рахунок зменшення травмування мінімальною кількістю технологічних операцій та максимальним покриттям рослинними залишками (мульчування). За цих умов використання технології смугового обробітку ґрунту (Strip-till), значно знижує енергозатрати, але за умови раціонального використання робочих органів, що залежить від безлічі факторів (попередник, структура ґрунту, тощо) [33,34,35].

Сучасних ґрунтозберігаюче землеробство в країні підрозділяється в свою чергу на три підсистеми:

– технологія нульового обробітку ґрунту (No-till), що характеризується цілковитою відсутністю обробітку. Висівання проводиться сівалками прямої сівби, в яких перед висівним дисковим сошником установлюється спеціальний варіодиск, що прорізує в ґрунті борозенку, в яку потім потрапляє насіння [33,34,35];

– технологія смугового обробітку ґрунту (Strip-Till), поєднує переваги традиційної технології та ґрунтозберігаючої (нульової). Використовується для широкорядних (з міжряддям від 40 см) культур, таких як кукурудза, картопля, соняшник, соя та ін. [33,34,35];

– технологія вертикального обробітку ґрунту (Verti-till), виконується лущильниками, дисковими знаряддями на глибину до 15 см, після чого на поверхні ґрунту залишається від 15 до 30% рослинних решток [33,34,35].

Під нульовим обробітком ґрунту мається на увазі обробіток ґрунту, при якому порушується менше 25% поверхні. Впровадження інноваційних, сучасних технології обробітку ґрунту є найбільш перспективним, так як практично не порушує поверхню ґрунту, що дозволяє скоротити витрати на її обробку.

Згідно із агротехнічними вимогами ґрунтообробні робочі органи (активні, пасивні) ґрунтообробних агрегатів повинні створювати в ідеалі вологозберігаючий та вологонакопичувальний шар в структурі ґрунту (рисунок 1.4). Тобто, верхній шар ґрунту – пухкий, середній – ущільнений, нижній – щільний.

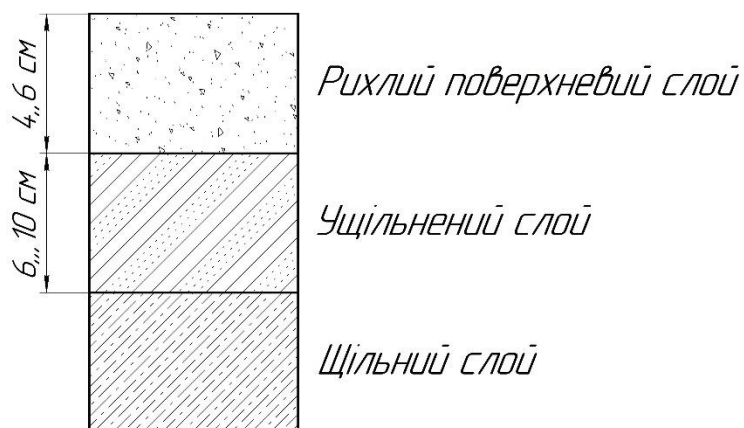


Рисунок 1.4 – Структура пошарового стану ґрунту після обробітку

Дана структура ґрунту забезпечує збереження та підведення вологи в зоні живлення насіння посівних культур. Окрім того, основою вимогою є також вирівнюваність поверхні, для зменшення площі випаровування вологи [19,33].

Аналізуючи та оцінюючи сучасні технології обробітку ґрунту, оптимальною та раціональною для впровадження на території Вінницької області є технологія як Strip-till (смуговий посів), основу якої складають, наступні цілі: відтворення ґрунтової родючості; збереження ґрунту від водної та вітрової ерозії, збільшення запасу біоти та ґрунтової вологи; поліпшення мінерального живлення рослин.

Технологія дозволить максимально зберегти стерновий фон. Завдяки технології в міжряддях ділянки з смуговим обробітком зберігається стерня рослин і накопичена мульча, що сприяє збереженню ґрунту від перегріву і більш економного випаровування ґрунтової вологи. Кращий розвиток кореневої системи культури при Strip-till дозволить накопичити більше органіки.

Технологія Strip-till (рис. 1.5) має на меті створити простір для оптимального проростання корінної системи рослин, насамперед, з стрижневим коренем завдяки цілеспрямованому розпушенню саме в місці зростання кореневої системи та, окрім цього, прибрати поживні залишки з поверхні над рядком, залишаючи при цьому міжряддя, захищені мульчою [1,12,28,29].

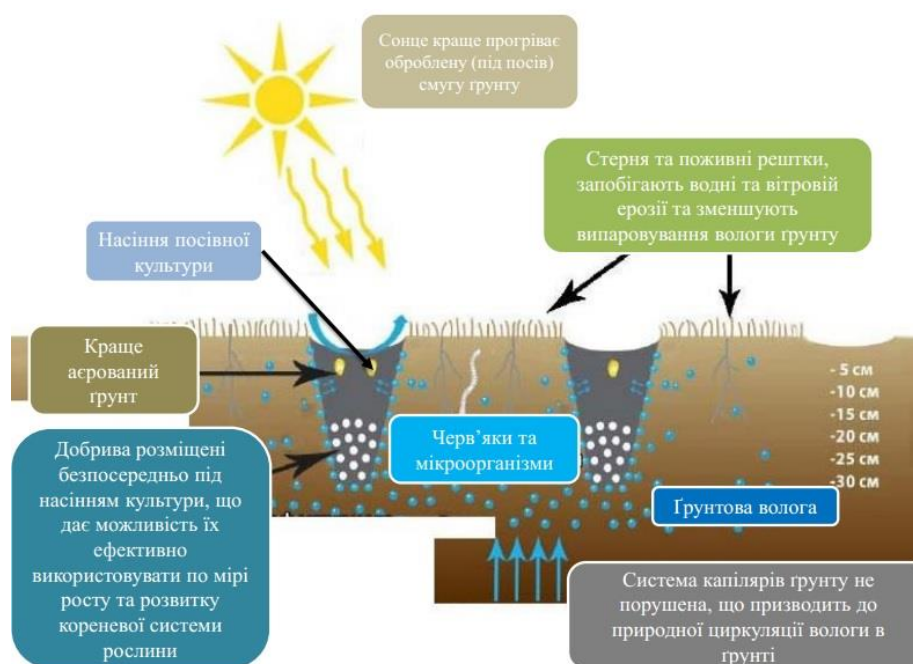
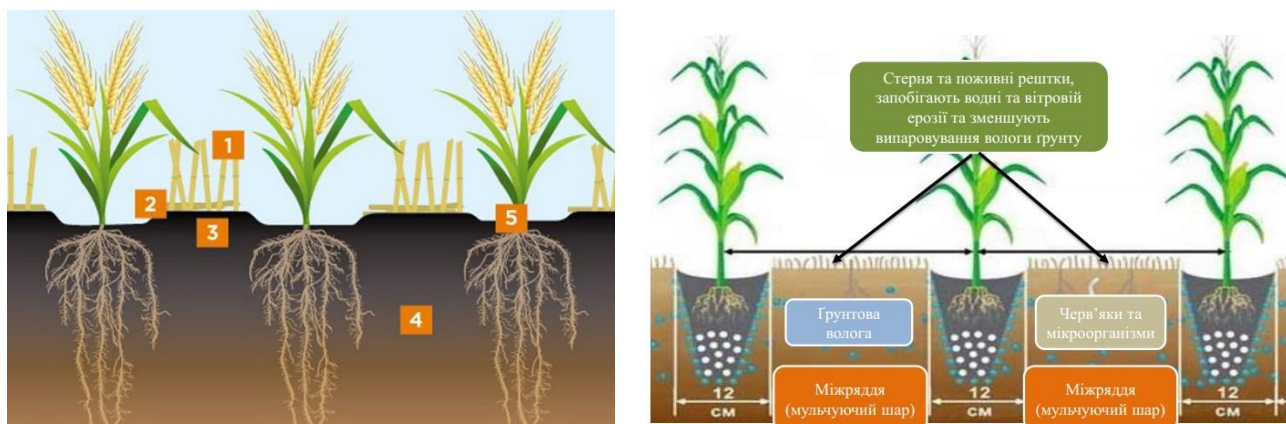


Рисунок 1.5 – Технологічна схема виконання ґрунтообробітку за Strip-till

Strip-till передбачає смугове розпушування на глибину прикореневого шару, з одночасним внесенням добрив (рис. 1.5). Таким чином, створюються оптимальні умови для проростання рівномірних сходів, за рахунок отримання добре підготовленого посівного "ложе".

Міжряддя взаємодіють з розпушеними смугами (рис. 1.6), забезпечуючи процеси обміну речовин, нормалізує життєдіяльність організмів та відновлюючи родючість ґрунту. Мінеральні і органічні добрива вносяться саме туди, де вони найбільше потрібні, до кореневої системи рослин [1,12,28,29].



1 – Стерня, мульча ; 2 – Смуга обробітку під посів культури; 3 – Збереження структури ґрунту (уникнення перевертання пласту); 4 – Підведення вологи з нижніх шарів ґрунту; 5 – Проростання кореневої системи в глибину (уникнення плужної підшви).

Рисунок 1.6 – Загальний вигляд посіву за технологією Strip-till

Між обробленими ділянками, залишаються міжряддя незайманого ґрунту (рис. 1.6). У них зберігаються капіляри, що покращують живлення вологою, а ґрунтова екосистема зберігає свою структуру. Зверху лежить мульча із рослинних залишків, які відіграють свою позитивну роль [1,12,28,29].

Strip-till базується на чергуванні смуг розпушування, шириною в 25-30 см, при цьому одна смуга залишається необробленою. У ній поєдналися переваги відвальної оранки (прогрів та просушування ґрунту) з захистом ґрунту, завдяки тому, що пухкі тільки смуги для внесення насіння. Розпушені смуги добре

поглинають атмосферні опади і повітря. Поля оброблені із застосуванням Strip-till технології мають задовільну стійкість до водної і вітрової ерозії [1,12,28,29].

Використання прийомів мульчування в ґрунтозберігаючих технологія має фундаментальне значення. В природних умовах непокритий нічим ґрунт нетипове явище. Мульча захищає ґрунт від перегрівання і проникнення шкідливого для мікрофлори ультрафіолету. Мульча відбиває частину сонячних променів і там самим захищає коріння рослин від перегрівання. Мульча затримує випаровування вологи з ґрунту, піднімає ближче до поверхні точку роси, сприяє рівномірному розподілу вологи в шарі ґрунту де знаходиться коріння рослин.

Технологія Strip-till краще прогріває ґрунт, ефективніше використовує добрива і забезпечує більш відповідний водно-повітряний режим. Strip-till – це технологія делікатного обробки ґрунту, її впровадження не обходиться без певних складнощів – вимагає наявності грамотних агрономів [1,12,28,29]. Але дбайливе ставлення до землі обов'язково окупиться підвищенням її родючості.

Впровадження технології Strip-till для України дає низку суттєвих основних позитивних переваг [28,32,33].:

- отримання оптимальної структури ґрунту перед посівом за рахунок смугового обробітку ґрунту спеціальними робочими органами, та вирівнювання поверхні поля із застосуванням прикочуючих катків;
- створення оптимально сформованого простору в місці проростання кореневої системи рослин за рахунок розпушування ґрунту і забирання з місця майбутньої смуги післязбиральних решток та відсутності ущільнення ґрунту;
- забезпечення доступу рослин до ґрунтової вологи за рахунок збереження капілярності ґрунту, особливо в міжряддях, де руйнування ґрунтової структури не відбувається, а також під смугою при відповідному зворотному ущільненні;
- захисту від водної та вітрової ерозії, насамперед, за рахунок поліпшення структури ґрунту, попередження появи дуже мілкового шару ґрунту на поверхні поля, а також утримуючих властивостях рослинних решток у міжряддях;
- ефективне підкореневе підживлення рослин на різних глибинах;

– економії на витратах засобів виробництва за рахунок зменшення кількості проведених агротехнічних заходів (поле обробляється несучільним рихленням, а лише на третину) і меншого використання потужної техніки для оранки і т.д.

В Україні Strip-till впроваджувалась спочатку в більш посушливих областях: Миколаївська, Одеська, Черкаська області, Житомирській, Волинській. Дещо пізніше її наступники ж успішно випробували в Дніпропетровській, Харківській, Хмельницькій та Вінницькій області [33,34,35].

Поряд з позитивними сторонами існують і негативні, які стримують широке впровадження технології Strip-till в господарствах. В першу чергу, це можливе зменшення урожайності, на першому році її застосування. По-друге, не підготовленість поля під технологію. В господарствах потрібно поступово впроваджувати технологію за всіма правилами. Для цього потрібні кваліфіковані виконавці, особливо агрономи [32,33].

1.3 Аналіз конструктивних особливостей ґрунтообробних агрегатів для реалізації обробітку ґрунту за технологією Strip-till

Сучасний стан розвитку сільськогосподарської техніки вимагає використання ґрунтообробних агрегатів, які б забезпечили підвищення продуктивності технологічних операцій, забезпечили зменшення витрат енергоносіїв, та механізували технологічні процеси.

Аналіз існуючої сільськогосподарської техніки, яка використовується в технології смугового обробітку ґрунту (Strip-till) або аналогічних технологіях (No-till, Verti-till), показав, що агрегати для цих технологій випускаються низкою машинобудівних заводів країн світу, таких як: США, Канади, Німеччини, Франції, та інших країн. Окрім цього, є перші спроби виготовлення на вітчизняних підприємствах агрегатів для реалізації технології Strip-till. Конструктивні елементи які застосовуються на цих агрегатах подібного типу порівняно до закордонних залишаються однаковими.

В даний час, незважаючи на різноманіття моделей сучасних агрегатів для сучасних технологій обробки ґрунту та їх виробників, в загальному конструктивна схема агрегатів залишається однаковою, та складається з наступних основних елементів:

- 1) рами у вигляді жорсткої зварної конструкції з пристроєм агрегування;
- 2) робочих секцій (кілька рядів стрілочастих лап з радіальної підвіскою, секції зубових борін, прикатуючі пруткові або пластинчасті катки [6,8,23];
- 3) системи внесення добрив (поверхнєве внесення або внутрішньогрунтове);
- 4) GPS - навігації.

Аналізуючи конструкції агрегатів (рис. 1.7) компанії AMAZONE (Німеччина), можна виділити наступне, що технології відбувається в два етапи, які не зв'язані між собою. При першому етапі здійснюється смуговий обробіток ґрунту з одночасним підґрунтьним внесенням добрив одним агрегатом, а при другому етапі відбувається безпосередньо висів культури. Такий принцип відповідає виробникам сільськогосподарської техніки США.



Рисунок 1.7 – Комбінований ґрунтообробний агрегат компанії Amazone

Аналіз компанії HORSCH (Німеччина), показав трохи інші напрямки розвитку, а саме компанія виробляє комплексні (комбіновані) агрегати (рис. 1.8),

що здійснюються за один робочий цикл внесення мінеральних добрив, безпосередньо обробіток ґрунту та висів насіння культури.



Рисунок 1.8 – Комбінований ґрунтообробний агрегат Focus 3 TD

Для аналізу також були вибрані виробники сільськогосподарських агрегатів компанії Mzuri (рис. 1.9а) та Claydon (рис. 1.9б) (Англія), які конструюють компактні (комбіновані) агрегати з робочими органами для обробітку ґрунту з одночасним висівом посівного матеріалу. Моделі цих виробників обладнані сошниками на стійках, які жорстко прикріплені до рами агрегату. Рихлячи сошники кріпляться до рами, проте опорне колеса забезпечує індивідуальне ведення по глибині висівного сошника. В цілому, агрегати даної конструкції застосовуються лише після плужного обробітку ґрунту, основним завданням є розпушування та подрібнення. А агрегати фірми Claydon за мету мають лише завдання – розпушування ґрунту.



а



б

Рисунок 1.9 – Комбінований ґрунтообробний агрегат Focus 3 TD

Аналіз діючого підприємства на території Вінницької області, такого як ТОВ «Агромаш-Калина» показав такі напрямки розвитку, а саме: підприємство виробляє комплексні (комбіновані) агрегати, що здійснюються за один робочий цикл внесення мінеральних добрив, безпосередньо суцільний обробіток ґрунту та висів насіння культури. Але, підприємство виробляє ґрунтообробну техніку для суцільного передпосівного обробітку ґрунту, тому виходячи з цього, для впровадження сучасних технологій потрібно налаштувати випуск власної вітчизняної техніки для їх реалізації, яка буде конкурентом на світовій арені.

На основі зробленого аналізу, доцільно порівняти переваги комбінованого та роздільного принципу реалізації смугової технології обробітку ґрунту. Переваги кожного принципу наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні переваги принципів реалізації смугової технології обробітку ґрунту

Комбінований принцип	Роздільний принцип
1	2
Економія ресурсів	Ефективне використання оптимальних часових показників висіву насіння посівної культури
Порівняно менша потреба у потужності трактора	Безпосередній висів незалежний від більш повільного процесу обробітку ґрунту
Відсутність необхідності використання інтегрованої системи рульового управління RTK-GPS	Посів може здійснюватися лише в денний час доби, обробіток ґрунту - цілодобово
Виключення впливу погодних умов між обробітком ґрунту і посівом	Важчі ґрунту (з вмістом глини більше 10%) можуть підсохнути перед висівом насіння

Концепція загальної будови знаряддя для смугової технології обробітку ґрунту полягає в агрегуванні декількох секцій робочих органів один за одним, які виконують кілька операцій по кожному оброблюваному рядку.

Агрегат смугової технології обробітку ґрунту Strip-Till KRIOS ST 6 (рис. 1.10) вітчизняного виробництва, призначений для підготовки ґрунту під посівні культури з одночасним внесенням мінеральних добрив. За допомогою трьох колтерів (турбодисків) проводиться якісне розпушування ґрунту.

Завдяки розміщенню на нарізувачі ємностей для мінеральних добрив та оригінальних робочих органів нарізувач забезпечує одночасне суміщення двох технологічних операцій: формування щілин з заданими параметрами за глибиною та шириною і локальне внесення мінеральних добрив в зону майбутнього рядка та нижні горизонти ґрунту.

Агрегат оснащений додатковим хвилястим диском та пневмодемфером і забезпечує стабільний процес нарізання щілин і внесення добрив на робочих швидкостях до 18 км/год.

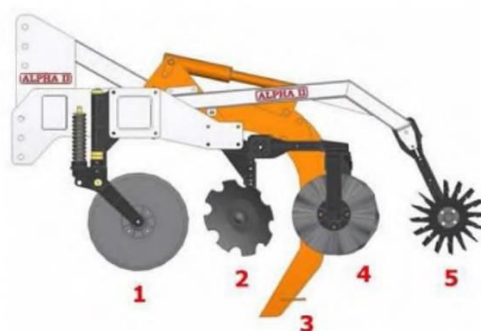
1.4 Аналіз конструктивних особливостей секцій робочих органів агрегатів для реалізації обробітку ґрунту за технологією Strip-till

Аналіз літературних джерел показав, що на ранній стадії розвиток конструкції агрегатів для смугової технології обробітку ґрунту здійснювався по більш простому шляху. На даний час, відомі для ринку агрегати обробітку та внесення мінеральних добрив в посівний рядки були допрацьовані або адаптовані під новітні технології обробітку ґрунту. Рама агрегату, як зазначено вище, була запозичена від інших агрегатів, і на неї встановлювались відповідні робочі органи, що в свою чергу забезпечують мінімальний вплив на ґрунт.

Подальший розвиток конструкцій був спрямований на розробку більш точних систем копіювання рельєфу ґрунту, що, відповідно поліпшували характеристики технологічного процесу обробітку ґрунту. При цьому, секції робочих органів не залежні друг від друга, що здійснює індивідуальне переміщення робочих органів по глибині. Зазвичай агрегати для смугової технології обробітку ґрунту проектується на основі агрегатів обробітку та одночасним внесення добрив в посівний рядок.

Конструкції секцій, яких наведені по класифікації нижче, в цілому виконують функції: розрізання, розчищення, розпушування та безпосередньо подрібнення. Класифікація секцій робочих органів дозволяє виділити їх два типи:

1 тип: Рихлячий та ріжучий робочий орган жорстко закріплений на рамі. За допомогою опорних коліс відбувається заглиблення рами по своїй робочій ширині. Конфігурацію робочих органів сконструювано таким чином, що вони здатні повторити рельєф ґрунту (рис. 1.11).



1 – ріжучий робочий орган; 2 – розчищаючий робочий орган; 3 – рихлячий робочий орган; 4 – розпушуючий робочий орган; 5 – мульчуючий робочий орган

Рисунок 1.11 – Схема секцій робочих органів агрегату для смугового обробітку ґрунту фірми Schlagel (1 тип)

Одні із найбільш відомих та поширених моделей на ринку таких агрегатів виробляються фірмами Carrotech, Schlagel і John Deere.

2 тип: Кожна із секцій робочих органів агрегату має свій підрамник, на якому кріпляться окремі робочі органи. Безпосередньо підрамник з'єднаний із рамою агрегату за допомогою паралелограмного механізму, для кращого копіювання ґрунту. Таким чином, даний тип отримує переваги перед першим типом за рахунок кращого копіювання ґрунту кожною секцією агрегату поперек напрямку обробітку ґрунту. Даний тип секцій робочих органів представляє собою п'ять функціональних зон робочих органів та їх завдання. За допомогою коліс або роликів відбувається індивідуальне копіювання рельєфу ґрунту секціями по глибині обробітку. В даному випадку на ріжучий робочий орган встановлена пара коліс. З боків біля ріжучого

робочого органу встановлені елементи, які також можуть виконувати функцію заглиблення агрегату.

Найбільш поширеними виробниками таких агрегатів є Strip-Cat, Orthman, Carter, Yetter, Kongskilde. Даний тип робочих секцій в більшій мірі представлений на ринку техніки.

Секція з робочими органами спроектована дуже компактною. Перевагою даних агрегатів є використання їх на сухих ґрунтах різного типу, завдяки зниженню навантаження на рихлячий робочі органи під час їх роботи.

1.5 Висновки до розділу, мета та цілі дослідження

В результаті вивчення стану питання, можна зробити висновок, що одним із способів вирішення проблеми збереження потенційної родючості ґрунту, зменшення ерозійних процесів, підвищення стійкості ґрунту до посухи є негайне впровадження ґрунтозберігаючих технологій обробітку ґрунту, які спрямовані на раціональне використання, збереження та підвищення потенційної родючості, створення сприятливих умов проростання і розвитку насіння посівних культур.

Окрім цього, встановлено, що з існуючих технологій обробітку ґрунту, оптимальною та раціональною для впровадження на території Вінницької області є технологія як Strip-till (смуговий обробіток), основою якої є відтворення ґрунтової родючості; збереження ґрунту від водної та вітрової ерозії; збільшення запасу біоти та ґрунтової вологи; поліпшення мінерального живлення рослин.

Технологія обробітку ґрунту Strip-till є перспективним напрямком розвитку ґрунтозберігаючого землеробства країни, що дозволяє істотно знизити інтенсивність техногенного впливу на ґрунт, тим самим зберегти або підвищити ґрунтову родючість у багаторічному аспекті.

За результатами аналізу, відомих конструкцій закордонних ґрунтообробних агрегатів, бачимо, що більшість з них не забезпечують якісне копіювання рельєфу, окрім цього, агрегати закордонного виробництва мають досить високу вартість.

Метою роботи – є збереження потенційної родючості ґрунтів за рахунок впровадження Strip-till технології обробітку ґрунту шляхом розробки конструкції комбінованого ґрунтообробного агрегату.

У зв'язку з високовартісною технікою іноземного виробництва, метою роботи є також впровадження технології за рахунок виготовлення власної техніки, а саме розробка вітчизняного ґрунтообробного агрегату.

Для досягнення поставленої мети, необхідно вирішити наступні цілі:

1) Провести аналіз сучасного стану ґрунтів сільськогосподарського призначення та проаналізувати сучасні технології обробітку ґрунту із можливістю їх впровадження, описати конструктивні рішення для їх реалізації.

2) Проаналізувати агротехнічні вимоги до обробітку ґрунту за технологією Strip-till, провести теоретичне обґрунтування параметрів робочих органів ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till, удосконалити математичну модель обробітку ґрунту за вихідними показниками роботи ґрунтообробного агрегату стосовно Strip-till технології обробітку ґрунту.

3) Описати методику проведення досліджень, провести експериментальні та лабораторні дослідження ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till.

4) Розробити конструктивно-технологічну схему ґрунтообробного агрегату для Strip-till технології обробітку ґрунту, обґрунтувати економічну ефективність впровадження Strip-till технології в господарствах країни.

РОЗДІЛ 2.

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГРУНТООБРОБНОГО АГРЕГАТУ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЇ STRIP-TILL

2.1 Основні агротехнічні вимоги до передпосівного обробітку ґрунту за технологією Strip-till

Важливим показником який визначає родючість ґрунту, водні, механічні і технологічні властивості є структура ґрунту. За традиційною інтенсивною технологією вирощування сільськогосподарських культур (до 5 проходів по одному сліду) різко погіршуються агрофізичні властивості ґрунту.

Ущільнення ґрунту в колії, яка залишається від тракторів переважно 4 тягового класу, на глибину до 40 см, досягає максимуму оптимальних значень для більшості культур, та становлять $1,4..1,5 \text{ г/см}^3$ (в середньому збільшується на $0,20 \text{ г/см}^3$ з неущільненим ґрунтом), твердість при цьому становить $1,97 \text{ МПа}$ і вище (збільшується в 4..5 разів), водопроникність знижується в 4..6 рази [33,37].

Передпосівний обробіток ґрунту за технологією Strip-till є ключовим підготовчим етапом до посіву культур. Особливою ознакою такого обробітку ґрунту є те, що він базується на знищенні бур'янів та розпушуванні ґрунту без обертання пласту ґрунту.

Зазвичай обробіток ґрунту проводять на глибину загортання насіння посівних культур. Для оптимальних та якісних сходів посівних культур поверхня поля після передпосівного обробітку ґрунту повинна бути вирівняна. При цьому, висота погрішностей допускається в межах 5 см. На поверхні ґрунту не повинно бути грудок розміром більше 12 см за діаметром.

Процес обробітку ґрунту за технологією Strip-till базується в наступному: розпушування; ущільнення; кришіння; вирівнювання поверхні поля; підрізання на певній глибині верхнього шару ґрунту від бур'янів, зменшення втрати випаровування вологи з ґрунту та мульчування, створення пухкого шару ґрунту та належних умов для якісного закладання насіння, що в свою чергу забезпечить

сприятливі умови для проростання насіння та подальшого його розвитку кореневої системи (не утворюється плужна підшва) (рис. 2.1) [18,33,35].

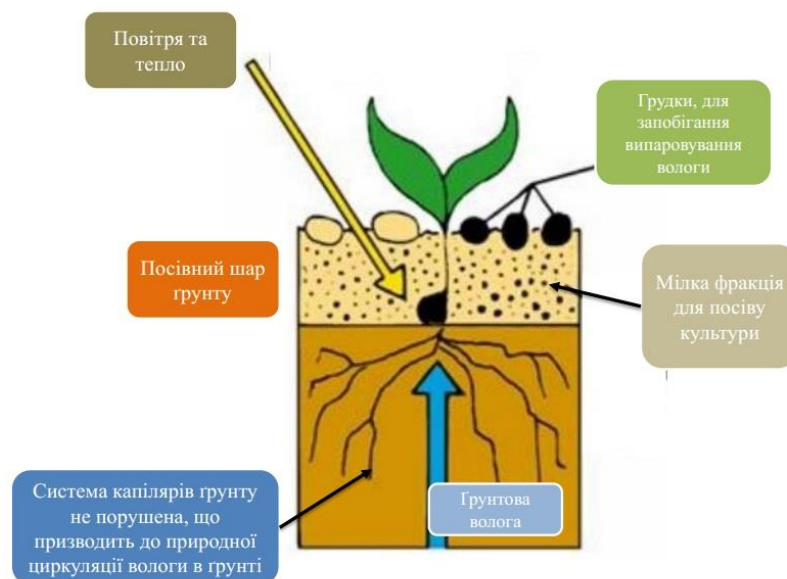


Рисунок 2.1 – Ідеальна структура підготовки ґрунту до посіву за технологією Strip-till

Після проходу агрегату оброблений шар ґрунту повинен бути мілкозернистим та розпушений. Наявність грудок в обробленому шарі ґрунту допускається менше 2,4 (2,6) см – 80%, від 4 до 11 см (5-10) – не більше 12%.

При вирощуванні посівних культур за технологією Strip-till, необхідно дотримуватись наступних агротехнічних вимог: обробіток проводити в установленій агротехнічній термін; відхилення глибини обробітку ґрунту допускається не більше $\pm 1,5$ см (1,0), при цьому щільність обробленого шару має бути в межах $1,0..1,3$ г/см³; не допускаються не оброблені смуги та ділянки (огріхи), які підготували для посіву; ширина смуги яка піддається обробітку повинна бути в межах 0,28..0,30 м; оброблена поверхня ґрунту повинна бути рівною та містити дрібні грудки [31].

Окрім цього, бур'яни повинні бути повністю підрізані. Не допускається не підрізання бур'янів на поверхні ґрунту та необроблених ділянках (огріхів), які підготували для посіву [18,26,27,31].

Нерівномірне розміщення насіння по глибині загортання істотно впливає на врожай посівних культур. Зменшення оптимальної глибини загортання насіння на 2,5 см зменшує врожай на 4%, а збільшення від оптимальної глибини загортання на 4 см – до 55%. Тому, для досягнення дружніх та рівномірних сходів насіння посівних культур потрібно ідеально підготувати “ложе” під посів (ущільнення на глибині посіву культури) (рис. 2.2). Тим самим, “ложе” зупинить підйом вологи із нижніх шарів ґрунту, та створить щільний контакт насіння посівної культури із вологим ґрунтом [18,26,27,31].

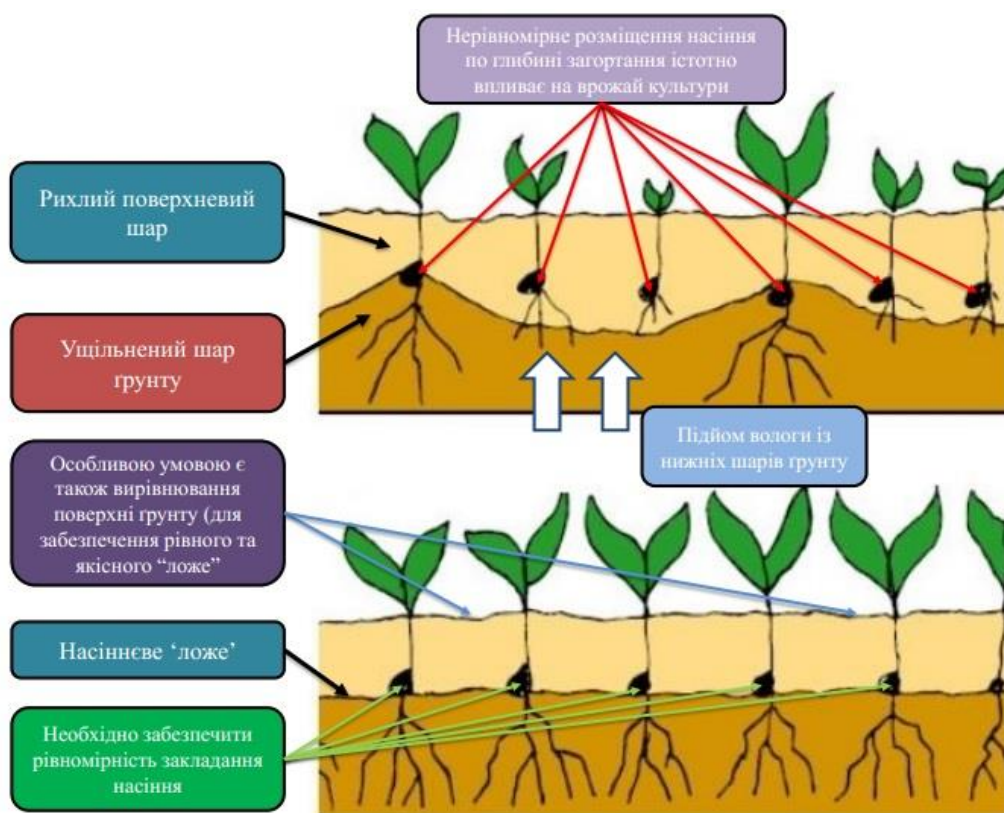


Рисунок 2.2 – Підготовка насіннєвого ложе за технологією Strip-till

Ефективний розвиток кореневої системи посівних культур відбувається за умови створення оптимальних умов, одні з яких: температура; вміст елементів живлення; аерація та вологість. Виконання технологічних операцій, таких як: ущільнення; обертання, підрізання бур'янів; кришіння; профілювання поверхні (борозни, гребні, щілини); розпушування – забезпечує зміну цих факторів [31,32].

Обробіток ґрунту без обороту пласта на глибину 125 (120) мм та виносу на поверхню ґрунту нижніх шарів, завдяки розпушуванню, частковому

перемішуванню ґрунту, вирівнюванні поверхні поля, підрізання бур'янів та внесення добрив або гербіцидів – формує поверхневий пухкий шар ґрунту, який забезпечує перешкоджання випаровуванні вологи, поліпшує водний та повітряний режим, прискорює прогрівання ґрунту навесні, посилює мікробіологічну діяльність та створює сприятливі умови для накопичення поживних решток та вологи.

Під час передпосівного обробітку ґрунту за технологією Strip-till необхідно досягти наступне: забезпечити допустимий ступінь кришіння ґрунту не менше 86%; поверхня ґрунту повинна бути вирівняна, а гребенистість в межах 44 мм; не припустимо виніс вологого ґрунту на поверхню більше ніж на 11%; забезпечити відсутність борозн та стабільну глибину обробітку ґрунту, зі варіабельністю не більше ніж 30%; забезпечити рівне насінневе “ложе” при обробітку ґрунту.

Тому, виходячи з агротехнічних вимог, необхідно створити ґрунтообробний агрегат для передпосівного обробітку ґрунту за технологією Strip-till, який включає в себе наступні робочі органи: секцію ґрунтообробних стрілочатих лап із одночасним внесенням добрив, секцію фрезерних барабанів, вирівнювальну планку, секцію трубчастого прикочувального катку, який забезпечить:

- зберігання та відновлення гумусу в ґрунті, тим самим в подальшому формуючи великі врожаї посівів культур;
- локальне внесення добрив до кореневої системи посівних культур, для покращення доступу поживних речовин до кореневої системи культур;
- створення оптимального насінневого “ложе” на потрібну глибину обробітку ґрунту, тим самим створюючи сприятливі умови для проростання насіння культур із подальшим розвитком кореневої системи;
- розпушування та змішування ґрунту із рослинними залишками;
- створення на поверхні дрібногрудкого шару ґрунту, для запобігання випаровування вологи;
- вирівнювання поверхні ґрунту та якісно подрібнювати великі грудки;
- створення агротехнічну готовність та високу технологічну надійність (коефіцієнт готовності не нижче 0,95);

Виходячи з цього, необхідно теоретично обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри робочих органів ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till, які забезпечать якісну підготовку ґрунту під посів культур.

Завдання теоретичного дослідження основних конструктивних параметрів ґрунтообробного агрегату сформовані в наступному вигляді:

- обґрунтування параметрів комбінованої стрічатої лапи;
- обґрунтування параметрів фрезерних барабанів;
- обґрунтування параметрів трубчастого прикочувального катку;
- розробити математичну модель процесу роботи ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till.

2.2 Обґрунтування параметрів стрічатої лапи та трубчастого прикочувального катка

В процесі механічного передпосівного обробітку ґрунту за технологією Strip-till приймають участь елементи, як: робочий орган ґрунтообробного агрегату, джерело енергії та безпосередньо ґрунт. Робочий орган впливає та змінює стан ґрунту, а саме: розміри та форма грудок, відстань між ними – отримуючи енергію від джерела живлення. Під час цього змінюється щільність ґрунту, відбувається знищення бур'янів, створюється оптимальні повітряні, водні та теплові умови, необхідні для розвитку та росту посівної культури [23,31,35].

Аналізуючи існуючі конструктивні схеми застосування ґрунтообробних агрегатів сьогодення та їх робочих органів, можна зробити висновок про те, що найбільш ефективними та найпоширеніших є стрічата лапа та каток [23,31]. Вона виконує важливі функції: підрізання бур'янів та розпушування ґрунту в зоні контакту. Окрім цього, лапа також виконує зміщення підрізаного шару ґрунту, що виключає приживлюваність підрізання бур'янів. Вдосконалення цих органів, дає можливість виконувати обробіток ґрунту в повній мірі відповідності з агротехнічними вимогами [23,31].

Основним недоліком ґрунтообробної лапи є оголення борозни після проходу робочого органу, відбувається винос вологого ґрунту на поверхню, окрім цього поверхня стає гребенистою, збільшена площа випаровування вологи, ці недоліки є вкрай небажаними, тому, виходячи з цього пропонується вдосконалити конструкцію ґрунтообробної лапи, для усунення вище перелічених недоліків.

Конструктивно ґрунтообробна лапа 1 складається із лемішів 2 які шарнірно прикріплені до стійки 3 (рисунок 2.3). Функціями ґрунтообробної лапи є розпушування ґрунту, кришіння грудок та підрізання бур'янів [31]. Доведено, оптимальний ґрунт перед посівом повинен бути дрібнозернистим пухким, верхній шар якого знаходиться в межах 0...50 мм. Основними конструктивними параметрами ґрунтообробних лап є: кут кришіння α , ширина захвату b та кут розхилу леза лапи 2γ [27,23,31,33].

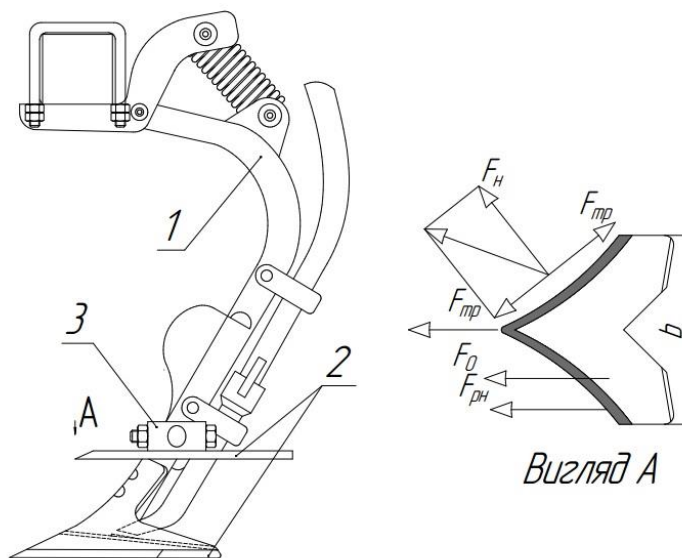


Рисунок 2.3 – Технологічна схема ґрунтообробної лапи

На підставі проведених досліджень встановлено, що оптимальний робочий орган ґрунтообробного агрегату є такий, що забезпечує підрізання бур'янів з кутом кришіння $\alpha=0$. Також, повинна виконуватись умова руйнування капілярів бур'янів, які сприяють випаровуванню ґрунтової вологи, стабільній глибині обробітку, рівній глибині загортання насіння [27,23,31,33].

Під час роботи комбінованої ґрунтообробної лапи, яка складається з верхнього та нижнього леміша: по нижньому переміщується ґрунт, по верхньому – рослинність. Тому, кут розхилу леза лемішею ґрунтообробної лапи визначається з формули:

$$2\gamma \leq \left(\frac{\pi}{2} - (\varphi_r, \varphi_p) \right), \text{град} \quad (2.1)$$

де φ_r – кут тертя ґрунту об сталю поверхню ґрунтообробної лапи, град;

φ_p – кут тертя рослинності об сталю поверхню ґрунтообробної лапи, град.

Нижній леміш – $2\gamma = 65^\circ$; Верхній леміш – $2\gamma = 75^\circ$.

Визначення повздовжньої швидкості руху із підрізанням пласту ґрунту по межі лапи, відбувається за формулою:

$$V_m = V_a \cdot \cos\alpha, \text{м/с} \quad (2.2)$$

де V_a – швидкість руху ґрунтообробного агрегату, м/с;

При $\alpha = 0$, $V_m = V$.

Із збільшенням кута α - $\cos\alpha$ зменшується а швидкість V_a – знижується, відбувається стягування ґрунту. Окрім цього, під час цього, із-за наявності кута γ відбувається підрізання та зміщення пласта в бік.

Визначення максимальної ширини захвату ґрунтообробної лапи відбувається згідно із формулою:

$$b_{max} < \frac{\cos(\gamma + \alpha)}{1,3 \cdot \cos\varphi}, \text{м} \quad (2.3)$$

При цьому, довжину леза ґрунтообробної лапи з одного боку визначають за формулою:

$$L = \frac{b}{2 \cdot \sin\gamma}, \text{м} \quad (2.4)$$

Межа ширини кінцевої частини ґрунтообробної лапи визначається як:

$$b_1 = 2b_3 = 2 \cdot \frac{t_l}{\text{tg}\alpha_3}, \text{м} \quad (2.5)$$

де t_l – товщина леміша, м;

α_3 – кут заточки леміша, град.

Межа ширини біля стійки ґрунтообробної лапи визначається як:

$$b_2 = 1,4 \dots 1,5 \cdot b_1, \text{ м} \quad (2.6)$$

Ширина ґрунтообробної пали посередині в напрямку руху визначається за формулою:

$$b_c = \frac{b_2}{\sin \gamma}, \text{ м} \quad (2.7)$$

Реакція ґрунту на роботу ґрунтообробної лапи, визначається з формули:

$$F_{\text{гр}} = K_{\text{в}} \cdot S, \text{ кН} \quad (2.8)$$

де $K_{\text{в}}$ – питомий опір верхнього шару ґрунту, Н/м²;

S – площа верхнього леміша, визначається за формулою:

$$S = \frac{b_{\text{л}}^2}{4 \cdot \text{tg} \gamma_{\text{в}}}, \text{ м}^2 \quad (2.9)$$

Обмеження мінімальної глибини обробітку ґрунту лапою досягається за рахунок кута кришіння [27,33]:

$$h_{\text{min}} = 2 \cdot \text{tg} \psi \cdot (t_{\text{м}} + l \cdot \sin \alpha), \text{ мм} \quad (2.10)$$

де $t_{\text{м}}$ – товщина леміша, мм;

ψ – кут кришіння ґрунту, град, який визначається за формулою:

$$\psi = 90 - \left(\frac{\alpha + \varphi_{\text{п}} + \varphi_1}{2} \right), \text{ град} \quad (2.11)$$

φ_1 – внутрішній кут тертя ґрунту, град.

Визначення середнього квадратичного відхилення від глибини обробітку ґрунту проводиться за формулою:

$$\sigma = f \cdot (K \cdot V \cdot \rho_{\text{гр}} \cdot \delta \cdot l_{\text{ро}}), \text{ мм} \quad (2.12)$$

де K – питомий опір ґрунту, Н/м²;

V – робоча швидкість руху ґрунтообробного агрегату, км/год;

$\rho_{\text{гр}}$ – щільність ґрунту, кг/м³;

δ – ребристість в зоні переміщення робочого органу, см;

$l_{\text{ро}}$ – відстань, між робочими органами, м.

Під час проходження ґрунтообробної лапи з кутом кришіння $\alpha > 0^\circ$ буде відбуватись одночасний вплив як на ґрунт, так і на рослинність [31]. Для забезпечення умови одночасного підрізання, необхідно щоб виконувалась умова:

$$\gamma + \varphi = \frac{\pi}{2} - \gamma, \quad (2.13)$$

Однією із конструктивних особливостей ґрунтообробної лапи є встановлення на стійку пристрою для очищення від налипання рослинних залишків, та зависання бур'янів на стійці.

Енергетичними характеристиками ґрунтообробної лапи є тяговий опір. Тому, даний опір лапи, яка складається з двох лемішів, стійки з пристроєм, технологічними каналами руху добрив, включає зусилля на підрізання ґрунту $F_{\text{під}}$ нижнім лемішем, і деформацію та зміщення шару ґрунту F_0 стійкою, розташованою між лемішами, на подолання сил тертя $F_{\text{тр}}$ і відкидання ґрунту (рисунок 2.4):

$$F_{\text{ТО}} = (F_{\text{ТН}} + F_{\text{ТВ}} + (F_{\text{РН}} + F_{\text{СТ}})) \cdot \mu \nu, \text{ Н} \quad (2.14)$$

де $F_{\text{ТН}}$ – сила тертя ґрунту по поверхні нижнього леміша, Н;

$F_{\text{ТВ}}$ – сила тертя ґрунту по поверхні верхнього леміша, Н;

$F_{\text{РН}}$ – зусилля підрізання пласту ґрунту з бур'янами нижнім лемішем, Н;

$F_{\text{СТ}}$ – зусилля впливу стійки на ґрунт, Н;

μ – швидкісний коефіцієнт.

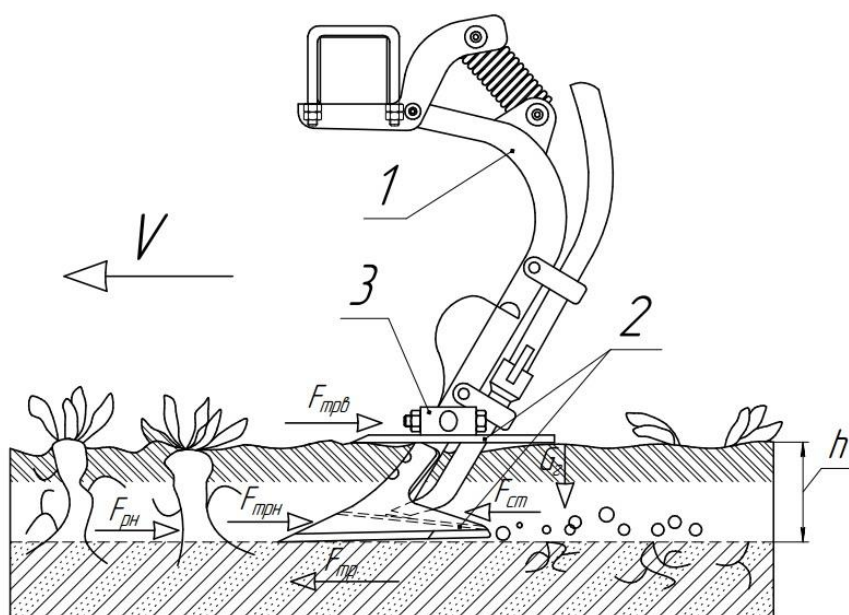


Рисунок 2.4 – Схема сил, які діють на ґрунтообробну лапу

Сила, яка виникає в наслідок тертя по поверхні нижнього леміша визначається з формули:

$$F_{\text{ТН}} = (G_{\text{Г}} + F_{\text{С}}) \cdot f, \text{ Н} \quad (2.15)$$

де $G_{\text{Г}}$ – вага ґрунту під нижнім лемішем, Н;

$F_{\text{С}}$ – зусилля, тиску нижнього леміша на ґрунт, Н;

f – коефіцієнт тертя лемішу об поверхню ґрунту.

Вага ґрунту під нижнім лемішем, визначається з формули:

$$G_{\text{Гр}} = S_{\text{Н}} \cdot h \cdot \rho \cdot g, \text{ Н} \quad (2.16)$$

де $S_{\text{Н}}$ – площа нижнього леміша, м²;

h – глибина обробітку ґрунту, м;

ρ - об'ємна маса ґрунту, кг/м³.

Сила, яка виникає в наслідок тертя по поверхні верхнього леміша визначається з формули:

$$F_{\text{ТВ}} = F_{\text{С}} \cdot f, \text{ Н} \quad (2.17)$$

Загальне зусилля ґрунтообробної лапи на ґрунт визначається з формули:

$$F_{\text{Л}} = F_{\text{Змі}} + F_{\text{Тс}}, \text{ Н} \quad (2.18)$$

де $F_{\text{Змі}}$ – сили на зміщення ґрунту стійкою лапи, Н;

$F_{\text{Тс}}$ – сили тертя ґрунту по поверхні стійки, Н.

Сила тертя, яка виникає від дії нормальної сили $F_{\text{Н}}$ знаходиться за формулою:

$$F_{\text{Т}} = F_{\text{Н}} \cdot \text{tg}(\varphi_{\text{Г}}, \varphi_{\text{Р}}), \text{ Н} \quad (2.19)$$

де $\varphi_{\text{Г}}$ – кут тертя ґрунту об сталю поверхню ґрунтообробної лапи, град;

$\varphi_{\text{Р}}$ – кут тертя рослинності об сталю поверхню ґрунтообробної лапи, град.

Нормальна сила ґрунтообробної лапи знаходиться за формулою:

$$F_{\text{Н}} = k \cdot l \cdot \sin^2 \alpha, \text{ Н} \quad (2.18)$$

де k – питомий опір ґрунту, Па;

l – ширина леміша ґрунтообробної лапи, м;

b – ширина половини захвату леміша ґрунтообробної лапи, м;

α - кут кришіння ґрунту лапою, град.

Тому, тяговий опір ґрунтообробної лапи становить:

$$F_{\text{То}} = (S_{\text{Н}} \cdot h \cdot \rho \cdot g + 0,6 \cdot m_{\text{с}} \cdot g) \cdot f + t_{\text{м}} \cdot b_{\text{л}} \cdot k + b_{\text{с}} \cdot h \cdot k \cdot (1 + f \cdot \sin\beta) \cdot \mu \cdot v, \text{Н}$$

На підставі аналізу встановлено, що дослідження проводиться для робочого органу ґрунтообробного агрегату, що забезпечує підрізання бур'янів з використанням комбінованих двоярусних стрілчатих лап з одночасним внесенням добрив з кутом $\alpha = 0$. При цьому повинно забезпечуватись умова руйнування капілярів, які сприяють випаровуванню ґрунтової вологи, стабільна глибина обробітку ґрунту (за рахунок верхнього леміша), що дорівнює глибині загортання насіння.

Обґрунтування параметрів трубчастого катку. Після проходу ґрунтообробного агрегату на поверхні поля утворюються грудки різного розміру, поверхня поля залишається гребенистою. Окрім цього, важливою умовою при передпосівному обробітку ґрунту за технологією Strip-till є якісне вирівнювання поверхні поля та отримання мілкозернистої структури ґрунту, тому, для уникнення гребенистої та отримання якісної поверхні ґрунту для посіву культур застосовують робочий орган як каток. Які в свою чергу, зарекомендували себе краще при підготовці ґрунту до посіву за технологією Strip-till.

Виходячи з цього, для вирівнювання поверхні ґрунту після проходу ґрунтообробного агрегату, кришіння великих грудок та ущільнення ґрунту в смузі обробітку з одночасним мульчуванням поверхні із рослинними залишками пропонується вмонтувати секцію трубчастих катків для ґрунтообробного агрегату.

Для формування смуги, яка піддається обробітку ґрунту для подальшого посіву культур застосовуємо бокові ножі, які вмонтовані на краях прикочувального трубчастого катка.

Трубчастий циліндричний каток – це тіло, що має горизонтальну вісь обертання. Завданням якого є якісне подрібнення грудок різного діаметру на поверхні поля, вирівнювання поверхні поля, мульчування ґрунту із рослинними залишками та ущільнення ґрунту в смузі посіву культури. Ефективно подрібнюють грудки трубки круглого перетину, подрібнення грудок відбувається ребром [31,35].

Глибина входження трубчастого прикочувального катку в ґрунт h_k в загальному залежить від його ваги, ширини та розмірів трубок, кількості трубок, стану ґрунтового покриття q та агротехнічної допустимої швидкості руху:

$$h_k = 1,31 \cdot \sqrt[3]{\frac{(mg)^2 \cdot \pi}{b^2 \cdot q^2 \cdot n_T \cdot \sqrt{2a^2}}} \cdot 1 + k_c \cdot (V_p - V_0), \text{ м} \quad (2.20)$$

де m – маса катка, кг;

b – ширина катка, м;

n_T – кількість трубок на катку;

a – діаметр трубку, см;

k_c – швидкісний коефіцієнт (0,05..0,07 км/год);

V_p – робоча швидкість руху ґрунтообробного агрегату, км/год ($V_p = 6$ км/год).

Лінійна швидкість V_k перекочування катку по поверхні ґрунту при русі ґрунтообробного агрегату зі швидкістю V_a , м/с, визначається з формули:

$$V_k = V_p \cdot \eta_k = \frac{\pi \cdot n_k \cdot D_k}{60}, \text{ м/с} \quad (2.21)$$

де V_p – робоча швидкість руху ґрунтообробного агрегату, м/с;

η_k – коефіцієнт перекочування барабану кутка;

n_k – кількість обертів катка, визначається з формули, об/хв:

$$n_k = \frac{60 \cdot V_p \cdot \eta_k}{\pi \cdot D_k}, \text{ об/хв} \quad (2.22)$$

D_k – діаметр трубчастого катку, м.

При проходженні трубчастого катку по поверхні ґрунту, на нього діють такі сили (рисунок 2.5), як:

G_k – сила тяжіння трубчастого катку, кН;

P – сила опору трубчастого катку, яка діє вздовж тримача рами, кН;

R – сила опору ґрунту під час входження трубок катку в ґрунт, кН;

R_x – сила взаємодії трубок із ґрунтом, кН;

$F_{пр}$ – сила притиснення трубчастого катку до поверхні ґрунту, кН.

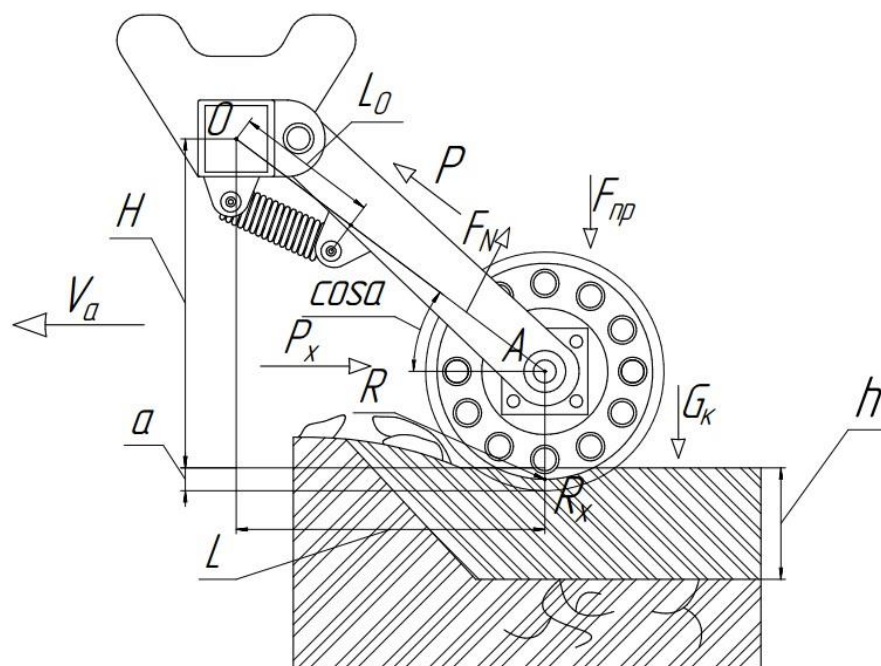


Рисунок 2.5 – Схема сил, які діють на прикочувальний трубчастий каток

Складова P_x горизонтального тягового опору трубчастого катку, знаходиться з формули:

$$P_x = P \cdot \cos\alpha = P \cdot \frac{L - D_k}{H - D_k + a}, \text{кН} \quad (2.23)$$

де $\cos\alpha$ – кут нахилу тримача рами, град;

a – глибина занурення трубчастого катка, м.

Обертання трубчастого катку відбувається під час контакту трубок із ґрунтом. Під час цього грудки великих розмірів розбиваються на грудки дрібних розмірів, рівній відстані між трубками l_k катку.

Виходячи із агротехнічних вимог до передпосівного обробітку ґрунту по технології Strip-till, допускається наявність на поверхні ґрунту грудок, розміри яких становлять не більше ніж 11 см, а в обробленому верхньому шарі ґрунту – до 2,7 см, тому, виходячи з цього, відстань між трубками катку рекомендується приймати в межах – 10..11 см.

В той час, діаметр трубок катку, визначається із глибини посіву, так як трубки катку окрім вирівнювання поверхні та подрібнення грудок – ущільнюють поверхневий (посівний) шар ґрунту.

Силу взаємодії трубок катку із ґрунтом, визначають з формули:

$$R_x = F_1 + F_2 = f \cdot F_N + \delta \cdot S, \text{кН} \quad (2.24)$$

де F_1 – сила опору трубчастого катку на перекочування, кН;

F_2 – сила опору трубок катку, кН;

f – коефіцієнт тертя ґрунту об трубки катку;

F_N – нормальна сила тиску катка на ґрунт, кН;

δ – коефіцієнт опору зсуву ґрунту;

S – площа контакту трубок катка із ґрунтом, що викликає зсув ґрунту, м².

Площа контакту трубчастого катка S , знаходиться з формули:

$$S = b \cdot l_{\text{тр}} \cdot n_{\text{тр}}, \text{м}^2 \quad (2.25)$$

де b – ширина однієї секції трубчастого катку;

$l_{\text{тр}}$ – діаметр трубки катку, мм;

$n_{\text{тр}}$ – кількість трубок трубчастого катку.

Сила опору трубчастого катку, яка діє вздовж тримача рами, визначається з формули:

$$P = \frac{G_k}{\sin\alpha} - \frac{R_x - \delta \cdot b \cdot l_{\text{тр}} \cdot n_{\text{тр}} \cdot \cos\alpha}{f \cdot \sin\alpha} + \frac{\pi \cdot D_k^2 \cdot b \cdot c \cdot \rho}{4 \cdot \sin\alpha}, \text{кН} \quad (2.26)$$

де G_k – сила тяжіння трубчастого катку, кН;

$\sin\alpha$ – кут нахилу тримача рами, град;

c – коефіцієнт наповнення трубчастого катка;

ρ – питома вага ґрунту, кН/м³.

Підтримуючи працездатність трубчастого катка крутний момент $M_{\text{об}}$ (кН·м), який виникає від сили тертя F (кН), між дотичною поверхнею ґрунту і катком повинен бути більший моменту подрібнення $M_{\text{под}}$ (кН·м), тобто:

$$M_{\text{об}} \geq M_{\text{под}}, \text{кН} \cdot \text{м} \quad (2.27)$$

Виходячи з цього, повинна виконуватись залежності:

$$F \cdot D_k \geq \frac{D_k - 2 \cdot l_{\text{тр}}}{2} \cdot b \cdot l_{\text{тр}} \cdot n_{\text{тр}} \cdot \delta, \quad (2.28)$$

$$F \geq \frac{M_{\text{под}}}{D_k}, \quad (2.29)$$

Нормальна сила тиску з боку трубчастого катка на ґрунт, визначається з формули:

$$F_N = G_1 - P \cdot \sin\alpha + \frac{\pi \cdot D_k^2 \cdot b \cdot c \cdot \rho}{4}, \text{кН} \quad (2.30)$$

Для уникнення недостатнього зусилля від R_x (кН), конструктивно передбачено можливість збільшення сили R_x (кН) на величину ΔR_x (кН), з допомогою притискної пружини силою F_0 з боку рами ґрунтообробного агрегату, для якісного притискання трубчастого катка до поверхні та ущільнення верхнього шару ґрунту.

Теоретично силу $F_{пр}$, відносно моментів точки А можна зобразити наступним чином:

$$F_{пр} = \frac{\Delta R_x \cdot \left(H + \frac{a}{2}\right)}{L_0}, \text{кН} \quad (2.31)$$

де L_0 – відстань від точки дії сили до точки опори тримача катку, м.

За рахунок встановлення трубок по гвинтовій лінії під кутом до осі обертання відбувається вирівнювання поверхні ґрунту під посів. Дію на грудки ґрунту E від трубки F_T (рисунок 2.6) забезпечують сили, які мають дві складові: силу тертя $F_{тр}$ та нормальну силу F_N .

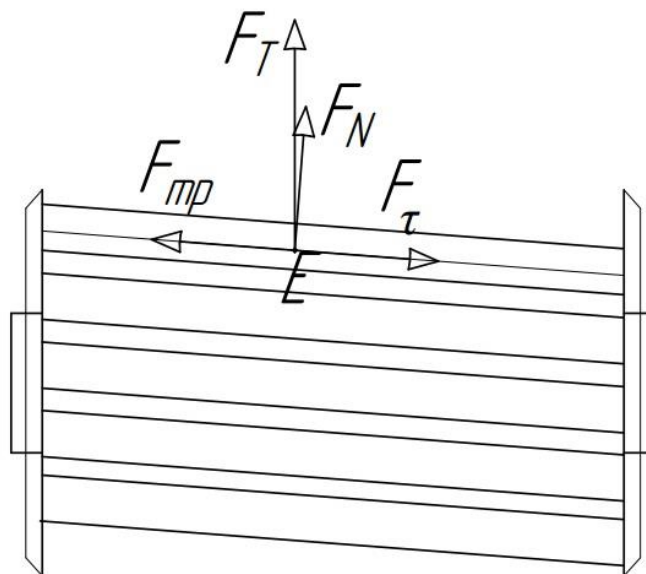


Рисунок 2.6 – Схема сил, які діють на ґрунт від прикочувального трубчастого катку

Теоретично процес переміщення грудок ґрунту в бік, буде забезпечений при умові, якщо $F_{\tau} > F_{\text{тр}}$. Виходячи з цього, сила тертя $F_{\text{тр}}$ та сила переміщення грудок в бік F_N визначаються з нерівностей:

$$F_{\text{тр}} = F_N \cdot \text{tg}\varphi_{\text{T}}, \quad (2.32)$$

$$F_{\tau} = F_N \cdot \text{tga}_{\text{T}}, \quad (2.33)$$

де φ_{T} – кут, тертя ґрунту по поверхні трубки, град;

a_{T} – кут, нахилу трубки до осі обертання, град.

Виходячи з рівнянь (2.32-2.33) маємо:

$$F_N \cdot \text{tga}_{\text{T}} > F_N \cdot \text{tg}\varphi_{\text{T}} \quad (2.34)$$

$$\text{tga}_{\text{T}} > \text{tg}\varphi_{\text{T}}; \quad a_{\text{T}} > \varphi_{\text{T}} \quad (2.35)$$

Аналізуючи рівняння (2.34-2.35) бачимо, що кут нахилу трубки катка до осі обертання a_{T} повинен бути більшим а ніж кут тертя ґрунту по поверхні трубки φ_{T} .

При $\varphi_{\text{T}} = 24...28^{\circ}$ необхідно $a_{\text{T}} = 26..30^{\circ}$.

Під час руху катку по поверхні ґрунту відбуваються наступне дії (рис. 2.7):

- пересування по поверхні ґрунту (A);
- входження катку у ґрунт, при цьому розколювання та змінання структури ґрунту (B);
- підкидання ґрунту при виході трубчастого катку з-під ґрунту (C);
- удар трубками катку по грудках, які залишаються після проходу ґрунтообробної лапи із стійкою (D).

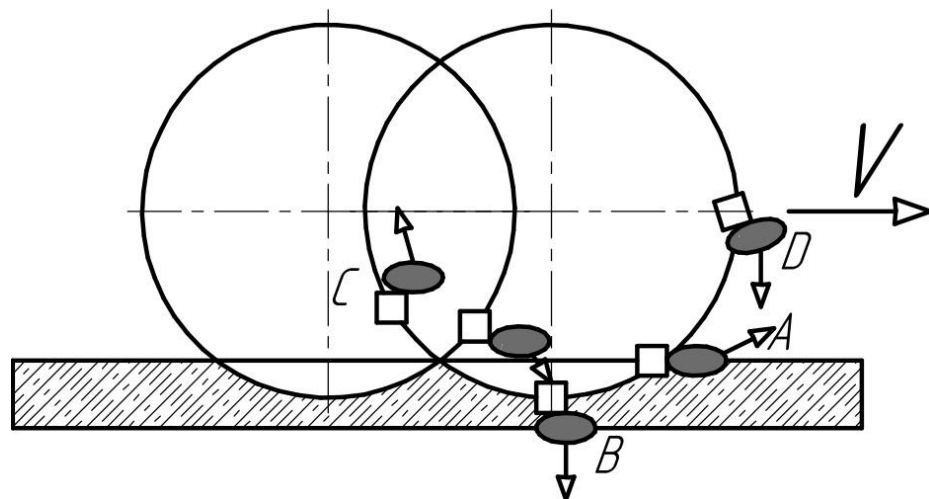


Рисунок 2.7 – Дії, від трубчастого прикочувального катку під час руху

Подрібнення різних діаметрів грудок на поверхні поля та ущільнення ґрунту відбувається під час впливу трубок за напрямком дії В і D. Вирівнювання поверхні ґрунту смуги обробітку під посів за напрямком дії – А, а розпушування поверхні ґрунту за напрямком дії – С.

Особливістю конструкції трубчастого прикочувального катку – є ромбовидна поверхня, тобто, одні трубки встановлені паралельно до горизонтальної осі, а інші, в тій же кількості – під кутом до осі обертання (рисунок 2.7). Це дасть можливість поліпшити процес впливу на ґрунт та якісно підготувати поверхню ґрунту до посіву культур.

Діаметр прикочувального трубчастого катка повинен забезпечити процес перекочування без згладжування та штовхання (залипання) катка на грудках ґрунту. Тому, за даними В.А. Сакуна [31,33], діаметр катка визначається з формули:

$$D_k \geq d_{k \max} \cdot ctg^2 \left(\frac{\varphi_T + \varphi_1}{2} \right), \text{ мм} \quad (2.36)$$

де $d_{k \max}$ – діаметр найбільших грудок ґрунту, мм;

φ_1 – кут, внутрішнього тертя ґрунту, град.

Згідно технічної документації, рекомендується щоб діаметр катку повинен бути не менше а ніж 400 мм. З точки зору компоновання робочих органів доцільно застосувати схему, при якій комбінована ґрунтообробна лапа працює в парі з одним катком на ширину смуги посіву культури. При ширині захвату комбінованої ґрунтообробної лапи $b = 250$ мм ширина катку не повинна перевищувати 300 мм.

2.3 Обґрунтування конструктивних параметрів секції фрезерного барабану ґрунтообробного агрегату

Ефективними на сьогодні є комбіновані ґрунтообробні агрегати з активними робочими органами, одними з яких є фрезерні ґрунтообробні агрегати, які позитивно зарекомендували себе в системі підготовки ґрунту під посів культур. Окрім якісного виконання технологічних функцій, фрези сприяють зниженню тягового опору ґрунтообробного агрегату.

Грунтообробна фреза є альтернативним агрегатом по обробітку ґрунту за технологією Strip-till по ряду причин. Призначення якої базується на інтенсивному кришіння ґрунту, знищення бур'янів, подрібнення рослинних залишків, перемішування шарів ґрунту, вирівнювання поверхні поля, основною перевагою є обробіток ґрунту без перевертання пласту.

Фрезерна обробітку ґрунту відповідає агротехнічним умовам якісної підготовки ґрунту для посіву. Сприяє якісному подрібненню, перемішуванню та добре подрібненому однорідному верхньому шару ґрунту, при цьому забезпечуючи кращий водно-повітряний режим та сприятливий тепловий режим ґрунту, значно підвищуючи врожайність культур.

Виходячи з цього, в конструкцію проектного ґрунтообробного агрегату додано секцію фрезерних барабанів. Тому, доцільно проаналізувати та обґрунтувати конструктивні параметри фрезерних барабанів ґрунтообробного агрегату. Аналізуючи якість роботи агрегатів установлено, що кращі результати по подрібненню ґрунту показали пристрої з активними робочими органами у вигляді спеціальних обертальних дисків і ґрунтових фрез.

Від раціональної величини діаметру фрезерного барабану залежать габарити та маса, окрім цього енергетичні та агротехнічні показники ґрунтообробної фрези в цілому. Дотримуючи однакову подачу на один робочий орган при збільшенні діаметра фрезерного барабану зростає довжина шляху.

Тому, довжина шляху різання визначається з рівняння:

$$l = R \cdot \sqrt{1 + \lambda^2} \cdot \left((\varphi_1 \cdot \varphi_2) \pm \frac{\lambda}{1 + \lambda^2} \cdot (\varphi_2^2 - \varphi_1^2) - \frac{\lambda^2}{6 \cdot (1 + \lambda^2)} \cdot (\varphi_2^3 - \varphi_1^3) \right), (2.37)$$

З рівняння бачимо, що шлях різання стружки залежить від радіуса ґрунтообробного барабану R , кінематичного параметру λ , глибини обробітку h , число ножів Z і напрямку обертання ґрунтообробного барабану.

Обробіток ґрунту ножем фрезерного барабану (рис. 2.8) розглядають як процес, що включає в себе три фази, з яких:

- підрізання пласту ножем з утворенням стружки;

- ударна дія робочої поверхні ножа на стружку та безпосередньо її кришіння;
- транспортування частинок стружки по робочій поверхні ножа та розпушування пласту.

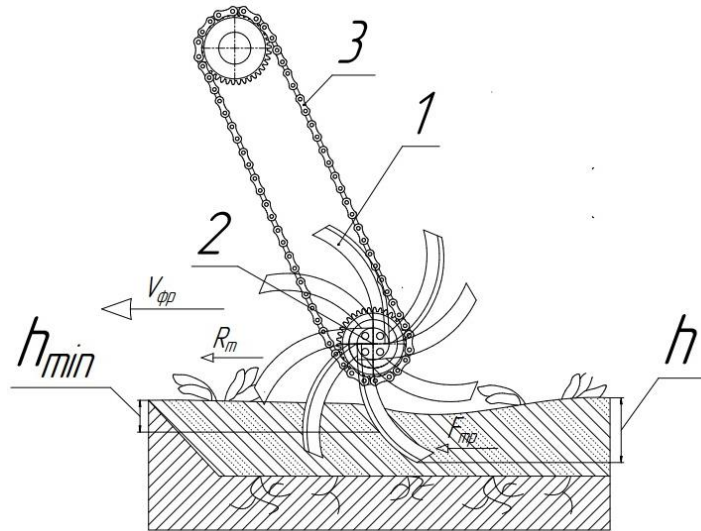


Рисунок 2.8 – Схема обробітку ґрунту фрезерним барабаном

Діаметр секції фрезерного барабана визначаємо із глибини обробітку смуги:

$$D = d + 2 \cdot h_p, \text{ мм} \quad (2.38)$$

де d – діаметр дисків фрези ($d = 120..350$ мм);

h_p – робоча частина висоти ножа на барабані, мм, яка визначається за формулою:

$$h_p = a + \Delta, \text{ мм} \quad (2.39)$$

де a – задана глибина обробітку ґрунту, мм;

Δ - зазор між дисками секції фрезерного барабана і поверхнею поля під час роботи, ($\Delta = 20-30$);

Радіус фрезерного барабану, знаходять за формулою:

$$R = \frac{\lambda \cdot v}{\omega}, \text{ мм} \quad (2.40)$$

де v – задана швидкість, км/год;

ω – кутова швидкість ножів, визначається за формулою:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}, \text{ р/с} \quad (2.41)$$

Радіус барабану по лезу, знаходять з формули:

$$R = H + h_{max}, \text{ мм} \quad (2.42)$$

де H – найбільша висота фрезерного барабану, м;

h_{max} – найбільша глибина борозни, м.

Мінімальна глибина борозни, становить:

$$h_{min} = \gamma, \text{ м} \quad (2.43)$$

де h_{min} – найменша глибина борозни (рис. 2.9), м.

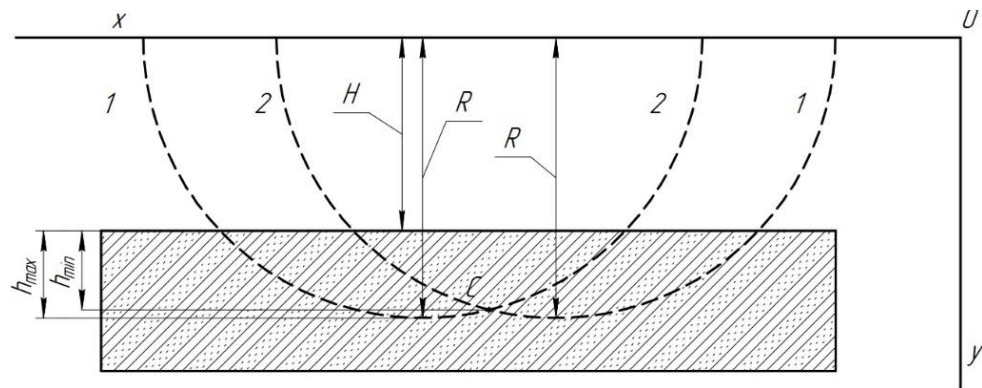


Рисунок 2.9 – Схема визначення глибини обробки дисковою фрезою

Шлях який проходить ґрунтообробний фрезерний барабан за один оберт, являється подачею фрези, який визначається за формулою:

$$S_z = \frac{\pi \cdot D}{\lambda \cdot z}, \text{ см} \quad (2.44)$$

де z – кількість робочих органів на дисковій секції, (в більшості $z = 4$);

λ – показник кінематичного режиму фрези, (прийнято $\lambda = 4$).

Кількість обертів ґрунтообробної фрези при роботі, визначаємо по формулі:

$$n = \frac{60 \cdot v_p}{\pi \cdot D}, \text{ об/хв} \quad (2.45)$$

де v_p – рекомендована швидкість обертання фрези, м/с ($v_p = 6$ м/с).

При роботі фрезерного культиватора, необхідно забезпечити умову:

$$P \cdot K \geq R_m + P_{в.п.}, \text{ кВ} \quad (2.46)$$

де P – потужність двигуна, кВ;

K – коефіцієнт використання потужності двигуна, ($K = 0,85..0,9$);

R_m – опір переміщення фрез по полю, визначається за формулою:

$$R_m = 10 \cdot f \cdot m_\phi, \text{кН} \quad (2.47)$$

f – коефіцієнт опору перекочування агрегату по полю, ($f = 0,15-0,2$);

M_ϕ – маса ґрунтообробної фрези, кг;

Питома потужність, яка припадає на одиницю ширини захвату ґрунтообробної фрези, визначається за формулою:

$$P = P_c + P_b, \text{кВт} \quad (2.48)$$

де P_c – оцінка питомої, на одиницю ширини захоплення потужності, потрібної для різання, Вт/м;

P_b – оцінка питомої, на одиницю ширини захоплення, потужності, необхідної для відкидання ґрунту, Вт/м.

При роботі ґрунтообробної фрези з горизонтальною віссю обертання потрібну потужність для роботи машини визначають за формулою:

$$N = N_{вг} + N_\phi + (N_{вг} + N_\phi)(1 - \eta_\pi) + N_\pi, \text{кВт} \quad (2.49)$$

де N_ϕ – потужність яка витрачається на фрезерування, яка визначається як:

$$N_\phi = N_p + N_{вт}, \text{кВт} \quad (2.50)$$

N_π – потужність на подолання постійних опорів (переміщення машини), кВт;

η_π – ККД приводу;

N_p – потужність, що витрачається на різання ґрунту, визначається як:

$$N_p = \frac{k_d \cdot S_b \cdot a \cdot z_q \cdot h}{60 \cdot 10^{-3}}, \text{кВт} \quad (2.51)$$

S_b – подача на ніж, яка визначається як:

$$S_b = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{\lambda \cdot z}, \text{м} \quad (2.52)$$

R – радіус барабана, м;

z – кількість ножів на барабані;

λ – кінематичний показник фрези;

k_d – питомий опір деформації ґрунту, МПа;

$N_{вт}$ – потужність, яка витрачається на відкидання ґрунту:

Q – маса ґрунту що відкидається за 1 с., визначається за формулою:

$$Q = \frac{B_p \cdot S_z \cdot a \cdot \gamma}{\omega}, \text{ кг} \quad (2.53)$$

де γ - об'ємна маса ґрунту, см^3 ($\gamma = 1,1..1,4$).

Умовно витрату потужності двигуна, визначають за формулою:

$$N_{\text{в.п.}} = \frac{N_{\text{ф.р.}}}{\eta_{\text{пр}}}, \text{ кВт} \quad (2.54)$$

де $N_{\text{ф.р.}}$ – потужність яка передається через гідромех. передачу, кВт;

$\eta_{\text{пр}}$ – ККД гідропередачі ($\eta_{\text{пр}} = 0,9$).

Робочий об'єм гідромотора для приводу фрезерних барабанів, визначається за формулою:

$$q_m = \frac{q_n \cdot \eta_n}{n_m \cdot \eta}, \text{ см}^3 \quad (2.55)$$

де q_n – робочий об'єм гідромотора;

η_n – ККД гідромотора;

n_m – кількість обертів гідромотора;

η – загальний ККД гідромотора, ($\eta = 0,91..0,95$).

Робочі органи з плоским або гвинтовим поверхнями істотно відрізняються ущільненням пласту на фазі входження леза ножа в ґрунт. Саме тому, вони є оптимальними для використання.

Окрім цього, чотири ножі по окружності фрезерного барабану забезпечують приблизно рівну і найменш питому роботу процесу фрезерування при рівних показниках розмірів стружки.

2.4 Математичне моделювання процесу роботи ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till

Виробники сільськогосподарської техніки мають досить широкий спектр продукції, виходячи з цього виникає необхідність у теоретичному узгодженні

параметрів енергетичних засобів та ґрунтообробних агрегатів з точки зору умов експлуатації та раціонального агрегування.

Моделювання процесу роботи ґрунтообробного агрегату може бути успішна реалізована при обґрунтуванні раціонального складу та режимів роботи агрегатів, так як на вході приймається величина наведеного тягового опору ґрунтообробного агрегату.

При умові застосування як основного параметра в дослідженнях прийняти іншу енергетичну величину – витрата пального двигуна енергетичним засобом на реалізацію технологічного процесу, обґрунтування параметрів ґрунтообробного агрегату може бути істотно спрощено [13,23,31].

Для забезпечення стійкого виконання технологічного процесу обробітку ґрунту відповідно до визначеного тягового класу тракторів необхідно для запропонованого комбінованого ґрунтообробного агрегату встановити оптимальну ширину захвату [13,23,31].

Визначення оптимальної ширини захвату агрегату, яке залежить від питомого опору, відбувається, як правило, лише для сталого режиму роботи. Комбінований передпосівний ґрунтообробний агрегат має декілька робочих органів, пов'язаних між собою, що свідчить про значну інерційність механічної системи, тоді для точного розрахунку оптимальної ширини захвату агрегату розглянемо динамічну систему механічного руху.

Під час рівномірного руху ґрунтообробного агрегату по горизонтальній поверхні на нього діють наступні сили (рис. 2.10) [13,23,31]:

- сила тяжіння агрегату, (G_{agr}), Н;
- тягове зусилля трактора, ($P_{тр}$), Н;
- опір ґрунту переміщення стрілкової лапи, ($P_{л}$), Н;
- опір ґрунту переміщення ґрунтообробної фрези, ($P_{фр}$), Н;
- опір ґрунту переміщенню вирівнювальної планки ($P_{план}$), Н;
- опір ґрунту переміщенню прикочувального катку, ($P_{при.кат}$), Н.

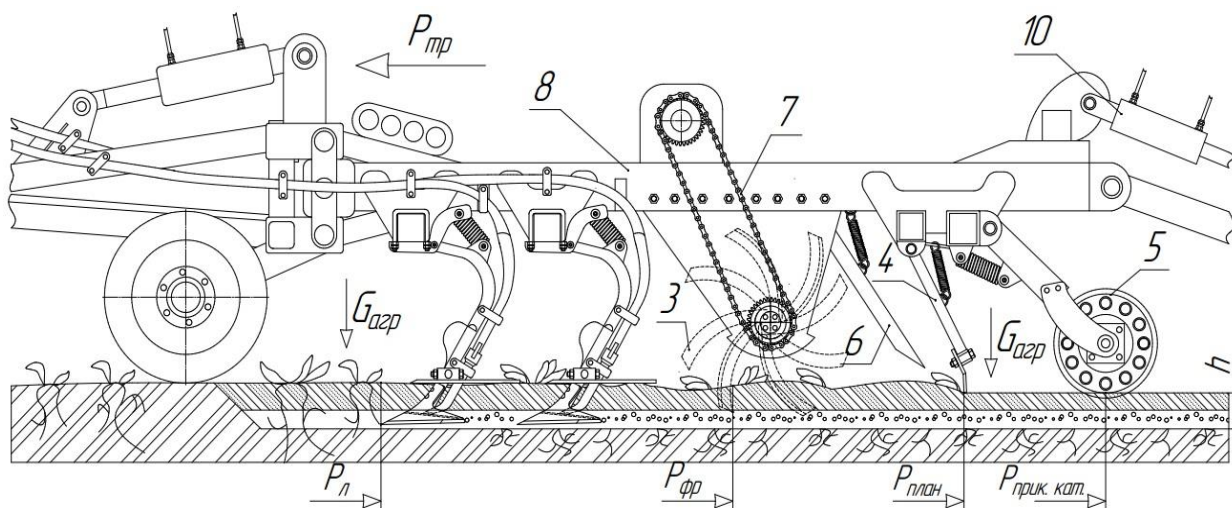


Рисунок 2.10 – Схема дії сил на робочі органи ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till

Виходячи з цього, приймаємо що, для забезпечення рівноваги у вертикальній площині дія вертикальних складових реакцій ґрунту на робочі органи компенсується вагою комбінованого агрегату, окрім цього питомий опір ґрунту та глибина обробітку ґрунту – постійні.

Тому, кінематична енергія за формулою Кенига визначається як [7,10,13]:

$$T_A = \frac{m_a \cdot V_a^2}{2} + \frac{I_a \cdot \omega^2}{2}, \quad (2.56)$$

де m_a – маса комбінованого агрегату, кг;

V_a – швидкість руху комбінованого агрегату, м/с;

I_a – момент інерції обертювих частин комбінованого агрегату, кг·м²;

ω^2 – кутова швидкість обертання відносно центру мас, с⁻¹.

Кінематична енергія ґрунтообробного агрегату визначається за формулою:

$$T_A = T_{пк} + T_{фр} + T_{па}, \text{ Дж} \quad (2.57)$$

де $T_{пк}$ – кінематична енергія прикочувального катка, Дж;

$T_{фр}$ – кінематична енергія фрезерних барабанів, Дж;

$T_{па}$ – кінематична енергія інших мас ґрунтообробного агрегату, Дж.

Кожна із складових виразу, розраховується як:

$$T_{пк} = 0,5 \cdot \left(m_{пк} \frac{I_{пк}}{r_{пк}^2} \right) \cdot x^2, \text{ Дж} \quad (2.58)$$

$$T_{\text{па}} = 0,5 \cdot m_{\text{ім}} \cdot x^2, \text{Дж} \quad (2.59)$$

де $m_{\text{пк}}$ і $m_{\text{ім}}$ – маси, відповідно, прикочувального катка та інших частин агрегату, кг;

$I_{\text{пк}}$ – момент інерції прикочувального катку кг/м²;

$r_{\text{пк}}$ – радіус прикочувального катка, м.

Із врахуванням рівнянь (2.58) і (2.59) рівняння (2.60) має наступний вигляд:

$$T_A = 0,5 \cdot \left(m_{\text{пк}} + m_{\text{ім}} + \frac{I_{\text{пк}}}{r_{\text{пк}}^2} \right) \cdot x^2, \text{Дж} \quad (2.60)$$

Вхідні змінні приймаються як характеристика умов роботи агрегату, а вихідні – сукупність параметрів, які визначають безпосередньо агротехнічні, енергетичні та техніко-економічні показники.

Математична розрахункова модель комбінованого ґрунтообробного агрегату має наступний вигляд:

$$F = \{f_1(t), \dots, f_j(t), \dots, f_n(t)\}, \quad (2.61)$$

$$Y = \{y_1(t), \dots, y_j(t), \dots, y_m(t)\}, \quad (2.62)$$

де F – вектор вхідних змінних;

Y – вектор вихідних змінних;

n, m – число сукупності експлуатаційних факторів.

На наш погляд, найбільш правильним підходом при виборі параметрів машин в складі МТА є комплексний ймовірно-статистичний метод. Функціонування машинно-тракторного агрегату (МТА) розглядається як реакція на зовнішні впливи, у вигляді складної динамічної системи, що здійснює перетворення змінних за типом «вхід-вихід».

Незважаючи на конструктивні відмінності ґрунтообробних агрегатів їх математичні розрахункові моделі можуть бути ідентичні.

Окремі процеси математичної підсистеми поділяються на дві групи: одна з яких обумовлена заздалегідь вже відомими факторами, та їх перебіг прогнозується по детермінованим функціям зв'язку (зовнішні умови та властивості самої системи є цілком певні з взаємно однозначним відповідністю реалізації процесів (вхідних

та вихідних)), а інші – їх реалізація є випадковими в ймовірностно-статистичному сенсі. Врахування цього підвищує достовірність отриманих результатів.

Наявність великої кількості вхідних і вихідних сигналів, змінність їх в часі або не стаціонарність є відмінною особливістю функціонування сільськогосподарських агрегатів. Процеси роботи ґрунтообробних агрегатів є випадковими в ймовірностно-статистичному сенсі [23,31].

Коливальний характер зовнішніх впливів є головною причиною, що обумовлює зміну вихідних показників роботи ґрунтообробних агрегатів в період експлуатації.

В якості вхідного сигналу, що не задовольняє досліджувану систему «ґрунт-агрегат-трактор» прийнята величина, яка приведена до постійної робочої швидкості руху та тягового опору агрегату, закон розподілу якого прийнято нормальним на підставі аналізу численних реалізацій процесів.

Оцінка законів розподілу вхідних та вихідних змінних проводиться за допомогою числових характеристик: математичні очікування та дисперсія:

$$m_y = \int y \cdot \varphi(y) dy = \int f(x) \cdot \varphi(x) dx, \quad (2.63)$$

$$D_y = \int [f(x) - m_y]^2 \cdot \varphi(x) dx, \quad (2.64)$$

де $\varphi(y)$, $\varphi(x)$ – ймовірність щільності розподілу відповідного вхідного та вихідного показника;

$y = f(x)$ – детермінована функція зв'язку.

В різних умова експлуатації при агрегуванні трактора виникає необхідність оцінки вихідних показників агрегатів у всьому робочому діапазоні завантаження по тязі, який визначається не тільки змінною агрофізичних властивостей ґрунту, але й – параметрами агрегату та його режимами роботи.

Для висвітлення зміни поточних математичних очікувань тягового зусилля на гаку трактора в залежності від робочої швидкості руху при агрегуванні із різними агрегатами застосовуємо рівняння другого порядку:

$$P_{ГК} = P_0 \cdot [1 + \varepsilon_0 \cdot (V_p^2 + V_0^2)], \text{ Н} \quad (2.65)$$

де $P_{гк}$, P_0 – відповідно математичне очікування тягового зусилля на гаку трактора при швидкості руху V_p^2 і V_0 ;

ε_0 – коефіцієнт, що враховує приріст тягового опору при збільшенні робочої швидкості руху МТА.

Величина тягового зусилля трактора при швидкості визначається із відношення:

$$P_0 = K_0 \cdot B_p, \text{ Кн} \quad (2.66)$$

K_0 – питомий тяговий опір агрегату;

B_p – робоча ширина захвату МТА, м.

Ширина захвату ґрунтообробного агрегату визначається з формули:

$$B_p = b_{1p} \cdot n, \text{ м} \quad (2.67)$$

де b_{1p} – ширина захвату однієї секції ґрунтообробного агрегату, м;

n – кількість секцій ґрунтообробного агрегату.

Математичні очікування робочої швидкості руху трактора в залежності від коефіцієнта використання зчіпної ваги та інших показників з високим ступенем точності визначається шляхом апроксимації експлуатаційних значень швидкості трактора по передачах [23].

За результатами агротехнічної оцінки із урахуванням вимог якості виконання технологічного процесу визначають діапазон математичних очікувань робочих швидкостей руху МТА.

Виходячи з цього швидкість руху МТА визначається з формули:

$$V_p = \frac{N_n \cdot \lambda_N \cdot \eta_{тр} \cdot \eta_\delta}{G_{тр} \cdot (\varphi + f)}, \text{ км/год} \quad (2.68)$$

де N_n , λ_N – відповідно номінальна потужність двигуна трактора і коефіцієнта використання;

$\eta_{тр}$ – ККД трансмісії трактора;

φ - математичне очікування коефіцієнта використання зчіпної ваги трактора;

$G_{тр}$ – експлуатаційна вага трактора, кг;

η_δ – коефіцієнт опору кочення трактора;

f – ККД буксування рушаїв трактора.

Зв'язок між номінальною витратою палива двигуном енергетичного засобу та його номінальною потужністю, визначається з формули:

$$G_H = g_{ен} \cdot N_H, \quad (2.69)$$

де $g_{ен}$ – питома витрата палива двигуном енергетичного засобу при номінальній потужності, (г/).

Математичне очікування продуктивності та витрати пального визначається відповідно за рівняннями:

$$W_{га} = B_p \cdot V_p, \quad (2.70)$$

$$G_{га} = \frac{G_H}{W_{га}}, \text{ кг} \quad (2.71)$$

2.5 Удосконалення математичної моделі процесу роботи ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till

Проаналізувавши результати чисельних тензометричних вимірювань агрегатів із різними тяговими класами тракторів, бачимо, зміну енергетичних параметрів машинно-тракторних агрегатів в умовах їх функціонування. На основі запропонованої математичної моделі ґрунтообробного агрегату, яка дозволить визначити математичні очікування вихідних параметрів, оптимізувати їх та режими роботи із врахуванням вимог технологічного процесу обробітку ґрунту [23].

Приймаємо на вході системи взаємодії «ґрунт – агрегат – трактор» величину енерговитрат на обробіток ґрунту, зміна яких відбувається не лише за різних ґрунтових умов (щільність, вологість, тип ґрунту та ін.), але й за рахунок варіації глибини обробітку ґрунту, робочої ширини захвату агрегату та допустимої агротехнічної швидкості руху агрегату, при цьому беручи до уваги типи застосування робочих органів агрегатів та їх характеристик.

Вихідними показниками системи розглядаємо математичні очікування годинної витрати та витрати на одиницю обробленої площі палива тракторного двигуна, продуктивності машинно-тракторного агрегату.

Вибір раціональних параметрів та режимів роботи агрегату залежить від визначення необхідної маси трактора і агрегату та необхідної потужності двигуна трактора, що забезпечить по можливості більше механічної енергії по відношенню до необхідних енергозатрат до ґрунту конкретними робочими органами для створення необхідної структури оброблюваної поверхні ґрунту.

Особливою умовою ефективної експлуатації машинно-тракторного агрегату є правильний та оптимальний підбір агротехнічних допустимих швидкостей руху для вибраних прийомів обробітку ґрунту із врахуванням стану ґрунту та найбільш повної реалізації номінальної потужності двигуна трактора.

В загальному енергетична потужність агрегату пропорційна добутку тяговому зусиллю енергетичного засобу на робочу швидкість руху. Маса агрегату, яка бере участь в процесі обробітку ґрунту, змінюється, тим самим впливає на завантаження робочих органів та визначає величину опору обробітку ґрунту.

Динамічний вплив P робочих органів агрегату із ґрунтом та його кінцевою масою m_n за час t повідомляє про швидкість руху V :

$$P \cdot \Delta t = \Delta m_n \cdot V, \quad (2.72)$$

Виходячи з рівняння (2.72) середня величина тягового опору P буде пропорційна квадрату швидкості руху агрегату, так як маса ґрунту, яка піддається впливу робочого органу в одиницю часу, пропорційна швидкості руху.

Рівняння руху при умові сталої роботи агрегату, із зміною швидкості руху від 0 до V поступово, при цьому забезпечуючи неперервний прохід робочого органу через ґрунту, має наступний вигляд:

$$P = \Delta m_n \cdot \frac{dV}{dt}, \quad (2.73)$$

При цьому, виходячи із рівняння (2.73) витрати потужності на обробіток ґрунт, визначається з формули:

$$N = P \cdot V = \Delta m_n \cdot V \cdot \frac{dV}{dt} = \Delta m_n \cdot \frac{V^2}{2}, \quad (2.74)$$

Математичне визначення робочої швидкості руху енергетичного засобу в залежності від коефіцієнта використання зчіпного ваги енергетичного засобу та

інших параметрів із високою точністю можна визначити шляхом узагальнення експлуатаційних значень швидкостей руху по передачах (2.65).

Визначення конкретного періоду ділянки шляху рівняння (2.74) проходу агрегату, проводять за формулою:

$$N = \Delta m_n \cdot \frac{V^2}{2 \cdot \Delta t}, \quad (2.75)$$

Виходячи з цього, поєднуючи рівняння (2.72-2.75 та 2.65) буде описувати фізичну сутність процесу обробітку ґрунту.

Але, із впровадженням сучасних енергетичних засобів та агрегатів, які мають досить велику вагу на одиницю ширини захвату агрегату по відношенню до енергетичного засобу (особливо комбіновані ґрунтообробні та посівні агрегати), слід враховувати співвідношення при розрахунку паливно-економічних показників та визначенні оптимізаційних завдань.

Основним оцінюючим показником використовується математична величина очікування витрати пального двигуном енергетичного засобу, яка визначає потрібну потужність для заданого технологічного процесу обробітку ґрунту.

Результати випробування агрегатів показали, що застосовуючи до реальних умов роботи машинно-тракторного агрегату витрата палива двигуна енергетичним засобом є взаємозв'язком між ширини захвату агрегату, глибини агрегату та швидкості руху [31]. Апроксимація цього має наступний вигляд:

$$G_{\Pi} = G_{\text{То}} + E_0 \cdot B_p \cdot h \cdot V_p^2, \text{ г/с} \quad (2.76)$$

де $G_{\text{То}}$ – математичне очікування витрати палива на самопересування агрегату та витрати в передавальних механізмах системи, г/с;

h – математичне очікування глибини обробітку ґрунту, м;

E_0 – коефіцієнт пропорційності, що враховує вплив стану ґрунту, параметрів трактора та типу робочих органів ґрунтообробного агрегату при інтенсивності приросту витрати палива двигуном енергетичного засобу від збільшення B_p , V_p і h .

Виходячи з цього, отриманий вираз представляє собою енергетичну характеристику ґрунтообробного агрегату в цілому при впливі його на ґрунт.

В цілому, витрати пального двигуна енергетичного засобу можна розділити на дві складові:

1) Продуктивна складова – витрачаються на корисну роботу руху ґрунтообробного агрегату;

2) Не продуктивні – втрати, на самопересування ґрунтообробного агрегату та втрати в передавальних механізмах системи.

Витрати пального двигуном по першій складовій, на переміщення ґрунту і пропорційній величині її обсягу та отриманому прискоренню, отримуємо вираз:

$$G_{\text{пс}} = E_0 \cdot B_p \cdot h \cdot S \cdot \frac{V_p}{t} = E_0 \cdot V_n \cdot a_n = E_0 \cdot P \cdot \frac{V_n}{m_n}, \text{ г/с} \quad (2.77)$$

де V_n, m_n – відповідно величина обсягу та маси обробного ґрунту;

a_n – величина прискорення, одержуваного ґрунтом під час обробітку.

Витрати пального двигуна по другій складовій, визначаються із виразу:

$$G_2 = C_o \cdot f_a \cdot (G_{\text{тр}} + G_a), \text{ г/с} \quad (2.78)$$

де C_o – коефіцієнт пропорційності, що враховує вплив сили опору кочення агрегату на величину витрат палива для його переміщення;

f_a – коефіцієнт опору кочення агрегату;

G_a – експлуатаційна вага ґрунтообробного агрегату, кг.

Виходячи з аналізу виразів (2.76) і (2.77) приходимо до висновку, що величина непродуктивних енерговитрат на ґрунт пропорційна експлуатаційній масі ґрунтообробного агрегату в цілому, а витрати палива на корисну роботу пропорційні тяговому опору, по відношенню до щільності ґрунту під час обробітку.

Тоді, поєднуючи рівняння (2.72-2.74) і (2.75-2.78) отримуємо узагальнену характеристику машинно-тракторного агрегату застосовуючи до заданих умов експлуатації.

Відповідно до цього, робоча ширина захвату ґрунтообробного агрегату для агрегування із енергетичним засобом визначається за формулою:

$$B_p = \frac{G_{\text{т max}} - G_{\text{п}}}{E_0 \cdot h \cdot V_{P \text{ max}}^2}, \quad (2.79)$$

Аналіз рівняння говорить про те, що величина пропорційна затратам палива на корисну роботу ґрунтообробного агрегату і обернено пропорційна коефіцієнту приросту витрати пального, глибини обробітку ґрунту та квадрату робочої швидкості руху машинно-тракторного агрегату.

Виходячи з цього, після перетворення рівняння (2.79), отримуємо рівняння для визначення продуктивності ґрунтообробного агрегату:

$$W = \frac{G_{Tmax} - G_{п}}{E_o \cdot h \cdot V_p max}, \quad (2.80)$$

А витрата палива, ґрунтообробного агрегату на одиницю площі, яка піддається обробітку визначається за формулою:

$$g_{га} = \frac{G_{п}}{B_p + V_p} + E_o \cdot h \cdot V_p, \quad (2.81)$$

Виходячи з рівнянь (2.79-2.81) слідує, що пріоритетним шляхом підняття продуктивності, відповідно і зниження витрат палива на одиниці площі, яка піддається обробітку є зменшення витрат пального на пересування агрегату, глибини обробітку ґрунту і застосування робочих органів ґрунтообробного агрегату з меншим питомий тяговим опором, а також не менш важливим є збільшення завантаження енергетичного засобу по тязі, за допомогою збільшенні ширини захвату ґрунтообробного агрегату при зниженні робочої швидкості руху ґрунтообробного агрегату.

Коефіцієнт корисної дії ґрунтообробного агрегату визначається як:

$$\eta_a = \frac{G_g - G_2}{G_{ТН}} = \frac{E_o \cdot B_p \cdot h \cdot V_p}{G_{ТН}}, \quad (2.82)$$

В якості головного показника спроектованого машинно-тракторного агрегату пропонуємо використати значення коефіцієнта корисної дії ґрунтообробного агрегату, що характеризує частку енерговитрат, затрачену ґрунтообробним агрегатом на корисну роботу, від загальної величини.

Математичні залежності, дозволяють проаналізувати застосування тягових агрегатів на базі енергетичних засобів із різними параметрами під час виконання обробітку ґрунту стосовно до реальних умов експлуатації.

Важливим значенням при визначені параметрів енергетичних засобів належить застосування технології вирощування посівних культур, тому що від цього залежить глибина обробітку ґрунту, ширина захвату агрегату та робочі органи, агротехнічна швидкість руху. Залежність цих факторів буде змінювати агрофізичні властивості ґрунту, ґрунтова структура, і, в кінцевому рахунку – врожайність.

Ефективність застосування ґрунтообробного агрегату враховує взаємозв'язок перелічених вище факторів. В результаті це дає можливість проектувати машинно-тракторні агрегати з точки зору енергоресурсозбереження при цьому досягаючи максимальної віддачі гектару поля.

2.6 Загальні висновки до розділу 2:

1. Аналіз конструктивних схем ґрунтообробних агрегатів сьогодення та їх робочих органів, можна зробити висновок про те, що найбільш ефективними та найпоширеніших є стрілчата лапа та каток. Вона виконує важливі функції: підрізання бур'янів та розпушування ґрунту в зоні контакту, також виконує зміщення підрізаного шару ґрунту, що виключає приживлюваність бур'янів.

2. Встановлено, що діаметр прикочувального катку повинен бути не менше а ніж 400 мм. З точки зору компоновання робочих органів доцільно застосувати схему, при якій комбінована ґрунтообробна лапа працює в парі з одним катком на ширину смуги посіву культури. При ширині захвату ґрунтообробної лапи $b = 250$ мм ширина катку не повинна бути більшою ніж 300 мм.

3. Розроблена математична модель дозволить на основі результатів оцінки основних параметрів машинно-тракторного агрегату визначати та встановлювати оптимальний склад та режими роботи ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till.

РОЗДІЛ 3.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ГРУНТООБРОБНОГО АГРЕГАТУ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЇ STRIP-TILL

3.1 Програма та методика проведення дослідження

У відповідності до виконаного теоретичного аналізу обґрунтування ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till, перевіряються на адекватність та точність основні результати досліджень спроектованого агрегату, визначається рівень впливу показників спроектованого агрегату на основні показники технологічного процесу обробітку ґрунту за технологією Strip-till. Окрім цього виникає необхідність оптимізації конструктивно-режимні показників ґрунтообробного агрегату.

Під час створення запропонованої конструкції ґрунтообробного агрегату та підтвердження отриманих в процесі дослідження параметрів та режимів роботи, передбачається проведення лабораторних та польових досліджень.

Шляхом теоретичних досліджень перевіряється результати досліджень математичної моделі процесу роботи ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till, а саме, визначення складових тягового опору агрегату, оптимальної ширини захвату, глибини обробітку, витрати паливно-мастильних матеріал та продуктивності машинно-тракторних агрегатів.

Аналізуючи отримані дані досліджень, програмою передбачено:

- визначити оптимальні параметри та агротехнічну оцінку роботи ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till;
- визначити раціональний та оптимальний склад розташування робочих органів ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till;
- дослідити технологічний процес роботи ґрунтообробного агрегату на основі математичної моделі роботи агрегату;

- визначити енергетичні та паливно-економічні показники роботи ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till;
- визначити вплив технології обробітку ґрунту Strip-till на врожайність посівних культур.

Польові та лабораторні дослідження ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till проводились на експериментальному полігоні та в лабораторіях машинобудівного підприємства, розташованого у Вінницькій області ТОВ «Агромаш-Калина» м. Калинівка.

При польових дослідженнях ґрунтообробного агрегату, було обрано ділянку поля, при якій можна здійснити весь перелік досліджень передбаченою програмою. При цьому, для отримання достовірних даних, з похибкою яка не виходить за 5%, розраховується необхідна для цього кількість проведених дослідів.

Під час досліджень, задані швидкісні параметри, агротехнічні параметри, задіяно допоміжні прилади фіксування вихідних параметрів, розмічена контрольна лінії ділянки поля для виконання дослідів, рельєф ділянки поля при цьому вибраний не рівний, для визначення конструктивних параметрів робочих органів задіяних для усунення нерівностей.

Оцінку якості підготовки смуг для посіву включала відбір зразків ґрунту з центральної частини смуги, на глибину розпушування з площі 0,3х0,3 м. Якість кришіння ґрунту визначалась виходячи з відсоткового вмісту за вагою розміром від 0,002 до 0,06 м. При цьому, вага проби становить не менше 2,5 кг.

3.2 Результати оптимальних параметрів ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till

Польові дослідження оптимальних параметрів спроектованого ґрунтообробного агрегату виконувались на території дослідного полігону машинобудівного підприємства, розташованого у Вінницькій області ТОВ «Агромаш-Калина» м. Калинівка. Для дослідження було вибрано енергетичний

засіб моделі John Deere-8520 та спроектований ґрунтообробний агрегат для технології Strip-till шириною захвату 4 м.

Дослідження, направлені на визначення оптимальних конструктивно-технологічних параметрів досліджуваного ґрунтообробного агрегату, а також процес його роботи.

Важливими факторами при визначенні оптимальної ширини захвату ґрунтообробного агрегату є глибина обробітку ґрунту та агротехнічна швидкість руху агрегату. Суттєве зростання енерговитрат відбувається при підвищенні робочої швидкості руху під час технологічних операцій обробітку ґрунту, яка впливає на необхідність зменшення ширини захвату ґрунтообробного агрегату, якщо вони агрегуються з конкретним трактором.

Виходячи з цього, важливим фактором є обґрунтування граничних значень швидкостей руху ґрунтообробного агрегату на конкретних видах робіт з точки зору якості виконання технологічного процесу обробітку ґрунту за технологією Strip-till, а також технологічну глибину обробітку ґрунту в конкретних умовах застосування, що в свою чергу, забезпечить суттєве підвищення врожаю посівних культур і в цілому ефективність обробітку ґрунту за технологією Strip-till.

Тому, обґрунтування оптимальних параметрів ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till проводимо виходячи із рекомендованих агротехнічних вимог, а саме: робоча швидкість руху (1,68-2,21 м/с 1,67-2,22) та глибина обробітку ґрунту (0,18-0,29 м 0,17-0,32).

Програма дослідження включає в себе: дослідження впливу робочої швидкості руху ґрунтообробного агрегату (3 рівні в діапазоні 1,68-2,21 м/с) і глибини обробітку ґрунту (3 рівні в діапазоні 0,18-0,29) на величину питомої витрати палива та продуктивності ґрунтообробного агрегату.

Розрахунок вихідних параметрів роботи машинно-тракторного агрегату проводимо за допомогою математичної моделі моделювання процесу роботи ґрунтообробного агрегату (розд. 2.4) для трьох рівнів робочих швидкостей і 3-х рівнів глибини обробітку ґрунту. Результати виконаних розрахунків зведені в таблицях 3.1-3.3.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунків МТА (енергетичний засіб – John Deere-8520) при швидкості в 6 км/год

Глибина обробітку	Робоча швидкість	Ширина захвату агрегату (розрахункова)	Ширина захвату агрегату (фактична)	Продуктивність агрегату (годинна)	Питома витрата пального
h, м	V_p , м/с	$B_p^{\text{розрах}}$, м	$B_p^{\text{факт}}$, м	$W_{\text{год}}$, га/год	G_T , л/га
1	2	3	4	5	6
0,18	1,68	11,5	10,85	19,39	0,73
0,23	1,68	9,3	8,85	15,38	0,91
0,29	1,68	7,6	7,35	11,88	1,034

Таблиця 3.2 – Результати розрахунків МТА (енергетичний засіб – John Deere-8520) при швидкості в 7 км/год

Глибина обробітку	Робоча швидкість	Ширина захвату агрегату (розрахункова)	Ширина захвату агрегату (фактична)	Продуктивність агрегату (годинна)	Питома витрата пального
h, м	V_p , м/с	$B_p^{\text{розрах}}$, м	$B_p^{\text{факт}}$, м	$W_{\text{год}}$, га/год	G_T , л/га
1	2	3	4	5	6
0,18	1,96	8,8	8,45	14,91	0,8
0,23	1,96	6,8	6,34	11,65	0,96
0,29	1,96	5,3	4,8	8,76	1,21

Таблиця 3.3 – Результати розрахунків МТА (енергетичний засіб – John Deere-8520) при швидкості в 8 км/год

Глибина обробітку	Робоча швидкість	Ширина захвату агрегату (розрахункова)	Ширина захвату агрегату (фактична)	Продуктивність агрегату (годинна)	Питома витрата пального
h, м	V_p , м/с	$B_p^{\text{розрах}}$, м	$B_p^{\text{факт}}$, м	$W_{\text{год}}$, га/год	G_T , л/га
1	2	3	4	5	6
0,18	2,21	5,4	4,8	14,67	0,79
0,23	2,21	4,45	4,1	11,36	1,12
0,29	2,21	4,1	3,9	8,9	1,17

Аналізуючи отримані результати, при робочій швидкості руху 2,21 м/с (8 км/год) і глибині обробітку ґрунту в межах 0,18-0,29 м розрахункова робоча ширина захвату складає 4,8-3,9 м. Отримані значення округлюються до значень ширини міжрядь смуг для технології Strip-till. У висновку, маємо 3 рівня ширини

захвату ґрунтообробного агрегату, відповідно до глибини обробітку ґрунту, 0,18-4,8 м; 0,23-3,9 м; 0,29-3,45 м.

Звідси, значення продуктивності і питома витрата палива перебувають в межах 13,67-8,9 га/год, і 0,79-1,17 л/га.

Залежність ширини захвату машинно-тракторного агрегату від глибини обробітку ґрунту при різних швидкостях руху (6-8 км/год) наведені в графічному вигляді на рисунку 3.1

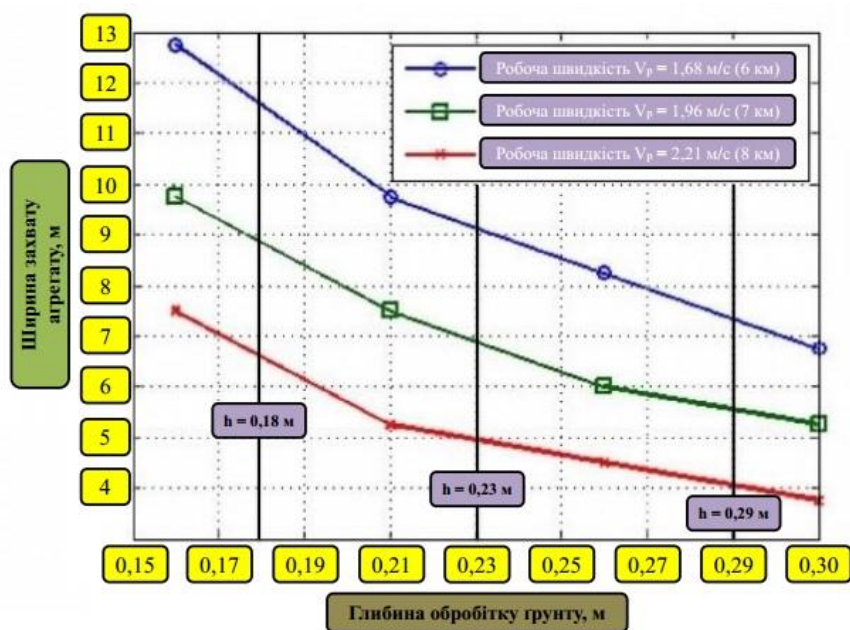


Рисунок 3.1 – Залежність робочої ширини захвату ґрунтообробного агрегату від глибини обробітку по технології Strip-till

Необхідно відмітити, що робоча ширина захвату 3,9 м забезпечить роботу ґрунтообробного агрегату в діапазоні швидкостей руху 1,68-2,21 м/с і глибину обробітку ґрунту від 0,18 м до 0,23 м, тобто, виходячи з цього, результати охоплюють практично весь досліджуваний діапазон глибини обробітку ґрунту і швидкості руху, тому є оптимальними з точки зору завантаження енергетичного засобу та виконання робіт за Strip-till технологією обробітку ґрунту.

За допомогою математичної моделі роботи ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till можна виконувати розрахунки оптимального машинно-

тракторного складу на базі різних енергетичних засобів, з урахуванням значень глибини обробітку ґрунту та агротехнічних робочих швидкостей руху.

3.3 Результати енергетичних показників ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till

Згідно розділу 3.1 програма дослідження включає в себе: дослідження впливу робочої швидкості руху ґрунтообробного агрегату (3 рівні в діапазоні 1,68-2,21 м/с) і глибини обробітку ґрунту (3 рівні в діапазоні 0,18-0,34) на величину питомої витрати палива та продуктивності ґрунтообробного агрегату.

В ході досліджень визначали середню витрату пального енергетичного засобу John Deere-8520 (по GPS-трекеру), середню допустиму робочу швидкість руху ґрунтообробного агрегату (по GPS-трекеру) та глибину обробітку ґрунту (по стандартній методиці).

Отримані результати під час дослідів занесені в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати витрати пального в залежності від глибини обробітку та швидкості руху

Глибина обробітку h, м	Кількість проведених дослідів							
	Робоча швидкість, V_p , м/с	Питом а витрат а пального, G_T , л/га	Робоча швидкість, V_p , м/с	Питом а витрат а пального, G_T , л/га	Робоча швидкість, V_p , м/с	Питом а витрат а пального, G_T , л/га	Робоча швидкість, V_p , м/с	Питом а витрат а пального, G_T , л/га
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,18	5,3	33,3	6,1	35,4	6,7	36,7	7,9	41,3
0,23	4,9	37,6	5,6	42,8	6,4	46,9	7,3	50,8
0,29	4,7	36,4	5,2	37,2	5,6	42,3	6,3	46,8

Аналізуючи отримані результати, витрата пального, при якій забезпечується максимальна величина використання потужності енергетичного засобу та максимальна сила на гаку при допустимій робочій швидкості 1,68-2,21 м/с

(агротехнічні вимоги). За формулою (2.67) визначаємо максимальну та мінімальну ширину захвату ґрунтообробного агрегату при різній глибині обробітку ґрунту.

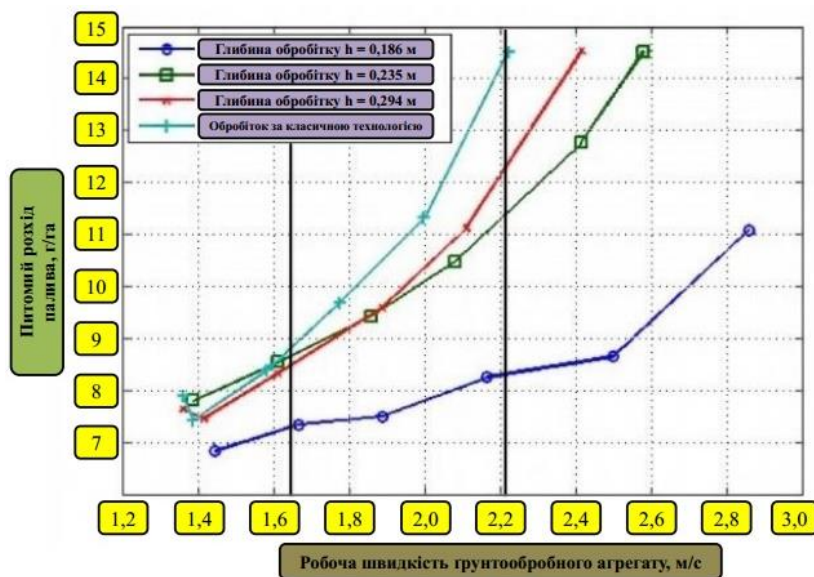


Рисунок 3.2 – Залежність витрати пального від швидкості руху ґрунтообробного агрегату

Згідно результатів, бачимо що глибина обробітку ґрунту та робоча швидкість руху ґрунтообробного агрегату є важливими факторами, які визначають оптимальну ширину захвату ґрунтообробного агрегату. Діапазон зміни швидкості при глибині обробітку 0,18 м і зміни робочої швидкості руху в межах 1,68-2,21 м/с знаходиться в межах 8,3-10,12 м, а при 0,29 м – 3,9-4,95 м.

При цьому, приймаємо робочу швидкість агрегату в межах 1,68-2,21 м/с, із робочою шириною захвату ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till в межах 3,9-6 м, це задовільнить якісний технологічний процес виконання смугової технології обробітку ґрунту.

3.4 Результати паливної економічності ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till

Основними показниками функціонування ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till є паливна економічність та продуктивність. На основі прийнятої

модель роботи машинно-тракторного агрегату та отриманої вихідної інформації розрахунковим шляхом, визначені значення витрати палива на одиницю обробленої площі в залежності від ширини захвату агрегату та глибини обробітку ґрунту і значення продуктивності. Ширина захвату ґрунтообробного агрегату під час розрахунків змінювалась поступово, із врахуванням ширини смуг посівів культур в межах 0,25-0,3 м.

Процес розрахунку вихідних параметрів проводився у складі машинно-тракторного агрегату John Deere-8520, який більш поширений у Вінницькій області, завдяки своїй суттєво нижчій ціні в порівнянні із аналогами, що дозволяє заощадити витрати на обробіток ґрунту розробленим ґрунтообробним агрегатом для технології Strip-till.

Розрахунок проводився для кожного рівня глибини обробітку ґрунту (0,18 м, 0,23 м, 0,29 м) та агротехнічною допустимою робочою швидкістю руху для ґрунтообробних агрегатів, яка становить 1,68-2,21 м/с (6-8 км/год). На основі прийнятої моделі машинно-тракторного агрегату визначаємо допустимі значення робочої ширини захвату ґрунтообробного агрегату із врахуванням максимального навантаження двигуна енергетичного засобу. На основі розрахунків отримано значення ширини смуги яка піддається обробітку, під посів культури, формуються розміри та кількість секцій спроектованого ґрунтообробного агрегату.

Виходячи із розрахунків, видно, що для кожного рівня глибини обробітку є допустимі 6 варіантів ширини захвату ґрунтообробного агрегату. Слід відмітити, при вищій глибині обробітку, тим вужче діапазон ширини захвату ґрунтообробного агрегату. Так, при обробітку ґрунту на глибину 0,18 м робочий діапазон ширини захвату агрегату становить від 8,3 м до 10,12 м, а при глибині 0,29 м від 3,9 м до 6 м.

На рисунку 3.3 показано залежність продуктивності при різній глибині обробітку від ширини захвату ґрунтообробного агрегату. А на рисунку 3.4 зображена залежність витрати палива від ширини захвату ґрунтообробного агрегату при різній глибині обробітку ґрунту.

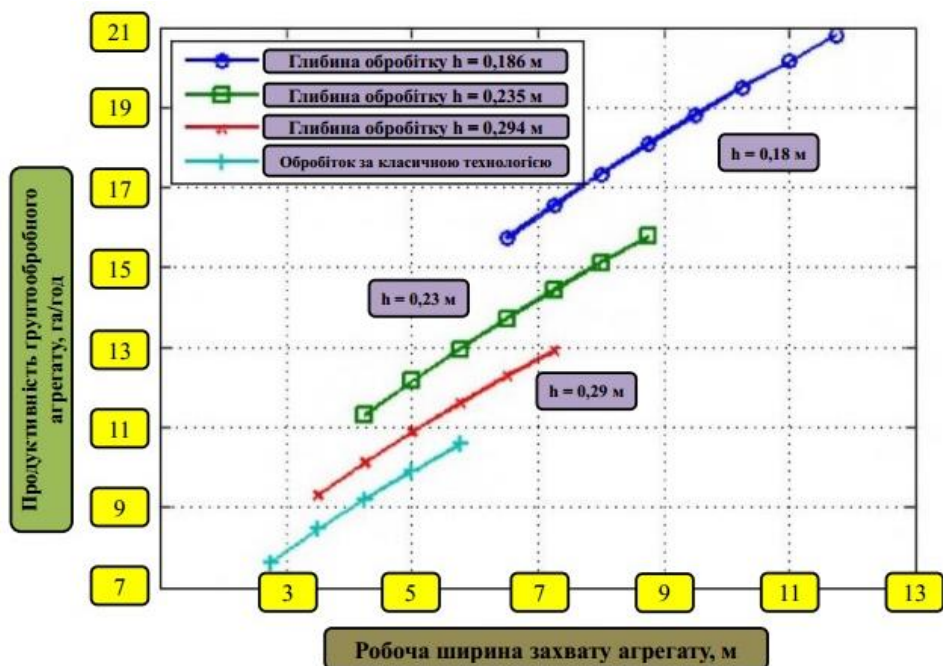


Рисунок 3.3 – Залежність продуктивності ґрунтообробного агрегату від його ширини захвату

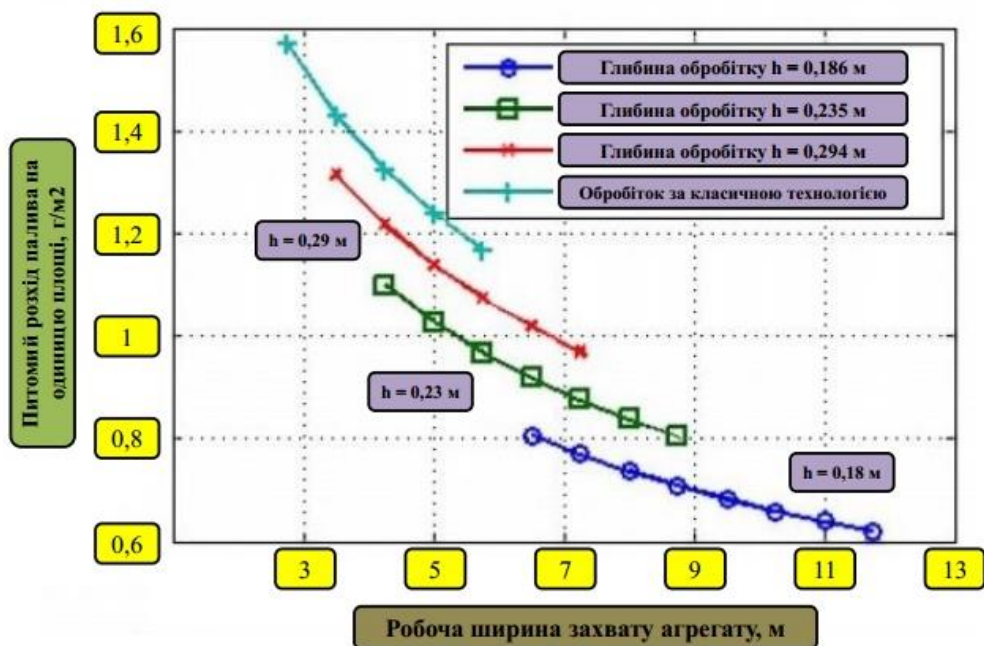


Рисунок 3.4 – Залежність витрати пального енергетичного засобу від ширини захвату ґрунтообробного агрегату

Виходячи із графіка, видно, що при збільшенні глибини обробки ґрунту 0,18 м до 0,29 м витрата палива на одиницю обробленої площі зростає з 0,81-0,62 г/м² до 1,56-1,17 г/м².

Необхідно відмітити те, що присутні значні перекриття по ширині захвату ґрунтообробного агрегату при певних значеннях глибини обробітку ґрунту та робочої швидкості руху машинно-тракторного агрегату. Тому, габаритні розміри ґрунтообробного агрегату повинні відповідати виходячи із агротехнічних допустимих швидкостей руху та технологічних показників глибини обробітку ґрунту.

3.5 Результати затрати потужності ґрунтообробної фрези на фрезерування ґрунту

За останні роки гідропривід набув широкого застосування. Галузь світового машинобудування досить широко застосовує гідроприводи робочих органів. Збільшення попиту на використання гідроприводів в машинобудівній галузі пов'язана з попереднім досвідом використання гідроприводів і його перевагами в порівнянні з іншими видами приводів (механічним, електричним).

Безальтернативним є гідравлічний привід, який може забезпечувати необхідні параметри технологічних процесів при відносно незначних габаритних розмірах і масі [23,35]. В свою чергу, це дасть можливість зменшити металоємність конструкції ґрунтообробного агрегату, дозволить спростити кінематику. Особливо агрегат є актуальним для фермерських господарств, при своїй незначній вартості та надійності технічного рішення.

Агротехнічні та енергоємні показники роботи ґрунтообробної фрези залежать від конструктивних розмірів, одним з яких є діаметр фрезерного барабану. Під час розрахунків, поступальна швидкість та число ножів на фрезерній секції постійні ($V_n = 0,23$ м/с; $Z = 4$), окрім цього, подача на один ніж (S) та відношення кутової швидкості до поступальної теж постійні ($\lambda = 2,46$).

Аналізуючи результати розрахунків (табл. 3.5) бачимо, що при зменшенні діаметру фрезерного барабану від 60 до 30 см затрати потужності на фрезерування ґрунту суттєво знижуються від 11,7 до 6,7 кВт (на 57,3%), в свою чергу крутний момент на валу фрезерних барабанів зменшується від 384,2 до 178 Нм, (тобто

на 46,3%). Окрім цього, зменшення зазнає також робота, яка призначена для відкидання фрезерними барабанами ґрунту.

Таблиця 3.5 – Результати досліджень діаметру фрезерного барабану

Назва параметру	Діаметр фрезерного барабану, см			
	60	50	40	30
1	2	3	4	5
Число обертів секцій, n	170	225	270	350
Витрати потужності на фрезерування, кВт	15,7	13,45	11,14	9,7
Крутний момент секцій фрезерних барабанів, Нм	384,2	310	240,4	178
Дальність відкидання ґрунту фрезерним барабаном, см	82	73	49	41
Маса відкинутого ґрунту фрезерними барабанами, кг	34,6	29,4	26,9	23,1
Робота на процес відкидання ґрунту, кгм	32	16,2	11,9	6,2
Середній діаметр грудок після проходу фрезерних барабанів, мм	6,9	6,3	5,1	6,6

При невеликих обертах ґрунтообробної фрези секціями з постійним кутом різання ножів дає невеликий вигреш у витраті енергії. При збільшенні швидкості фрезерування до 240 об/хв, різниця в енергоємності зростає порядку 46%. В секціях з постійним кутом різання значно зменшується витрата енергії на подолання динамічного опору. Для зниження енергоємності процесу фрезерування з постійним кутом різання досягається за рахунок зменшення сил опорів на відкидання ґрунту.

Для успішної роботи ґрунтообробної фрези з горизонтальною віссю обертання потрібна потужність на фрезерування ґрунту становить $N = 9,7$ кВт, радіус обертання ножів $R = 0,335$ м, кількість ножів $Z = 4$, показник кінематичного режиму фрези $\lambda = 6$, показник питомого опору деформації ґрунту $K_g = 0,17$ МПа, ширина стружки, рівна величині захвату одного ножа $v_c = 0,08$, глибина обробітку $a = 0,17-0,29$ м, загальна кількість ножів $Z_c = 32$, частота обертів барабану фрези = 350 об/хв, швидкість різання ґрунту $V_p = 3,9$ м/с.

3.6 Загальні висновки до розділу 3:

1. Удосконалення математичної моделі в розділі 2 дозволить на основі результатів оцінки основних параметрів машинно-тракторного агрегату визначити та встановлювати оптимальний склад та режими роботи ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till.

2. Діапазон зміни швидкості при глибині обробітку 0,18 м і зміни робочої швидкості руху в межах 1,68-2,21 м/с знаходиться в межах 8,3-10,12 м, а при 0,29 м – 3,9-4,95 м. При цьому, приймаємо робочу швидкість агрегату в межах 1,68-2,21 м/с, із робочою шириною захвату ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till в межах 3,9-4,8 м, це задовільнить якісний технологічний процес виконання смугової технології обробітку ґрунту.

3. Встановлено, що оптимальна робоча швидкість руху 2,21 м/с (8 км/год) та глибина обробітку, яка знаходиться в межах 0,18-0,29 м., при цьому робоча ширина захвату складе 4 м. При цьому, отримані значення округлені до значень ширини міжрядь смуг для технології Strip-till. Звідси, продуктивності агрегату та питома витрата палива енергетичним засобом перебувають в межах 13,67-8,9 га/год, і 0,79-1,17 л/га. Виходячи з цього, отримані дані охоплюють практично весь досліджуваний діапазон глибини обробітку ґрунту і швидкості руху, тому є оптимальними з точки зору завантаження енергетичного засобу та виконання робіт за Strip-till технологією обробітку ґрунту.

4. Встановлено, що для успішної роботи ґрунтообробної фрези з горизонтальною віссю обертання потрібна потужність на фрезерування ґрунту становить $N = 9,7$ кВт, радіус обертання ножів $R = 0,335$ м, кількість ножів $Z = 4$, показник кінематичного режиму фрези $\lambda = 6$, показник питомого опору деформації ґрунту $K_g = 0,17$ МПа.

РОЗДІЛ 4.

РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ГРУНТООБРОБНОГО АГРЕГАТУ ДЛЯ STRIP-TILL ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ У ВИГЛЯДІ СТАРТАПУ

4.1 Обґрунтування напрямку впровадження

Серйозною проблемою сільського господарства України на сьогодні є швидкі темпи падіння потенційної родючості ґрунтів, тому актуальним на сьогодні стоїть питання щодо її збереження для майбутніх поколінь.

В результаті ведення сільськогосподарської діяльності за інтенсивною технологією відбувається стрімке зниження основного показника родючості ґрунтів як гумусу, у зв'язку з їх переміщенням, руйнуванням капілярної структури, водопроникністю та аераційною здатністю.

Окрім цього, існує проблема пов'язана із високим показником розораністю територій, що приводить до розвитку ерозійних процесів ґрунтів, в наслідок чого відбувається втрата верхнього родючого шару, що в результаті призводить до падіння потенційної родючості ґрунтів (розд. 1.1).

Зберігаючи й надалі існуючу тенденцію введення землеробства за інтенсивною технологією в країні, в недалекому майбутньому ґрунти країни втратять свою родючість, із-за стрімкого падіння гумусу. Основним напрямком розвитку землеробства в країні на сьогодні є раціональне та екологічно чисте використання земель сільськогосподарського призначення, відтворення їх потенційної родючості та захист від ерозійних процесів.

Незважаючи на це, сучасні системи обробітку ґрунту повинні сприяти поліпшенню та збереженню фізико-механічних властивостей ґрунту; якісно знищувати бур'яни; забезпечувати сприятливі умови діяльності мікроорганізмів та проростання насіння культур та забезпечувати розвиток рослин. За основу в даних технологіях закладено мінімізувати обробіток ґрунту з якісним та обов'язковим покриттям ґрунту рослинними залишками.

Виходячи з цього, у зв'язку із стрімким падінням потенційної родючості ґрунту, терміново необхідно впроваджувати сучасні ґрунтозберігаючі технології обробітку ґрунту в господарствах країни, які мають ряд переваг перед інтенсивною технологією, основною ціллю яких є збереження та відновлення родючості ґрунтів, при цьому одночасно забезпечуючи необхідну урожайність посівних культур.

Майбутнє агропромислового комплексу України базується не лише на застосуванні сучасних технологій, а також і в розробці та впровадженні нових конструктивних рішень ґрунтообробної техніки. Які в свою чергу, дозволять не тільки заощаджувати ресурси, але й, що не менш важливо, дозволять зберегти та підвищити потенційну родючість земель, а це є запорукою високоефективного процесу виготовлення продукції рослинництва.

Тому, актуальною та доцільною задачею сьогодення є впровадження ґрунтозберігаючих технологій обробітку ґрунту. Окрім цього, пропонується вирішувати проблему в комплексі, із одночасним впровадженням технологій розробити комбінований ґрунтообробний агрегат для їх реалізації, який буде відповідати потребам господарств, при цьому маючи високі експлуатаційні та економічні показники, конкуруючи із зарубіжними аналогами.

При цьому, комбіновані ґрунтообробні агрегати мінімізують кількість технологічних проходів енергетичних засобів по полю, тим самим уникаючи суттєвого ущільнення ґрунтів під час обробітку ґрунту.

Оптимальною для впровадження в господарствах на території Вінницької області є технологія обробітку ґрунту як Strip-till, основу якої складають, наступні цілі: збереження ґрунтової родючості, за рахунок меншого травмування ґрунту кількістю операцій та максимальне покриття ґрунту рослинними залишками (мульчування); збереження ґрунту від водної, вітрової ерозії, збільшення запасу біоти та ґрунтової вологи; поліпшення мінерального живлення рослин.

Окрім цього, в області побудовано ряд біогазових станцій, які переробляють відходи тваринного походження, особливо від курей, однією з яких є найбільша птахофабрика в Європі – Ладижинська. Біогазова станція переробляє масу відходів на біогаз. Враховуючи те, що на тому курячого помелу потрібно порядку 30 тон

води, будуть побудовані великі накопичувачі рідких відходів, які можуть бути раціональними рідкими органічними добривами.

Таким чином, органічне добриво як побічний продукт виробництва буде мати невелику вартість, тому доцільно розробити комбінований ґрунтообробний агрегат який забезпечить транспортування та внесення органічних добрив у ґрунт під час обробітку. Тим самим буде вирішена проблема утилізації відходів.

4.2 Розробка та обґрунтування конструктивно-технологічної схема ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till у вигляді стартапу

Великого розвитку в агросекторі України набули господарства та ферми, які мають не значні сільськогосподарські угіддя, для яких використання габаритної техніки є затратним та економічно не вигідним.

Застосування габаритних агрегатів у таких господарствах дають незадовільні результати роботи: значно велика вага та габаритні розміри що сприяють ущільнення ґрунту та ускладнюють роботу на невеликих ділянках, окрім цього, потрібно великі поворотні смуги, багато часу витрачається на розвороти, відхилення від прямолінійного руху на нерівній поверхні, досить великі витрати палива та суттєве забруднення навколишнього середовища.

Слід відмітити також те, що одними із енергоємних технологічних операцій виробництва продукції рослинництва є основний та передпосівний обробіток ґрунту, на долю якого приходиться до 35% затрат.

Все більшого застосування в агрокомплексі України набувають комбіновані ґрунтообробні агрегати для обробітку ґрунту, впровадження яких дає позитивні результати роботи. Суттєвими перевагами є розширення функціональних можливостей використання, висока продуктивність, економія паливних ресурсів, але, саме головне – зниження техногенного впливу на ґрунт.

Аналіз існуючих конструкцій ґрунтообробних агрегатів для смугової технології обробітку ґрунту показав, що в більшості моделях відсутні механізми копіювання рельєфу; складність механізму, а й, відповідно збільшення вартості

агрегату; відсутність системи внутрішньогрунтового внесення добрив одночасно із обробітком ґрунту; недостатня стійкість конструкції та інші.

Суттєвим фактором є мінімізація проходів машинно-тракторного агрегату по полю, так як це створює тиск на ґрунт що ущільнює його. Порушення структури ґрунту та суттєве його ущільнення, порушення повітряно-водного режиму живлення ґрунту призводять до нерівномірності сходу насіння, притуплення утворення кореневої системи рослини, що негативно впливає на врожайність.

Виходячи з цього, для уникнення основних недоліків та збереження потенційної родючості ґрунтів країни, пропонуємо розробити конструкцію ґрунтообробного агрегату для смугової технології обробітку ґрунту, який має наступні конструктивні особливості:

1) Ґрунтообробна лапа виконана таким чином, що дозволить одночасно за один прохід підрізати бур'яни та вносити органічні добрива до кореневої системи рослин, тим самим покращуючи доступ поживних речовин;

2) На стійку ґрунтообробної лапи вмонтований верхній поверхневий леміш, який зрізає наземну частину бур'янів та використовується для стабілізації руху лапи, на потрібну глибину обробітку ґрунту;

3) Внесення органічних добрив відбувається внутрішньогрунтово та проводиться перед фрезеруванням ґрунту, що дає можливість якісно та інтенсивніше перемішувати його з органічним добривом, а також розпушувати ґрунт, що є важливим при впровадженні технології Strip-till.

4) Компоновка робочих органів дозволяє за один прохід ґрунтообробного агрегату виконувати всі необхідні технологічні операції за технологією Strip-till, при цьому зберігаючи вологу у ґрунті, тим самим в подальшому формуючи досить великі врожаї посівів культур.

5) За допомогою бокових ножів прикочувального трубчатого катку, які вмонтовані по краях відбувається формування смуги яка піддається обробітку для подальшого посіву культури;

6) Залучення об'ємного гідроприводу дає можливість регулювати зміну частоти обертання мішалок в резервуарі з добривами, зміну доз подачі добрив до

грунтообробних лап та зміну частоти обертання грунтообробної фрези, за рахунок дросельного регулювання;

7) Значно зменшились затрати потужності, в наслідок чого збільшилась швидкість роботи грунтообробного агрегату.

Конструктивно комбінований грунтообробний агрегат для технології Strip-till складається із двох основних частин, таких як: шасі, на якому розміщений мобільний резервуар великої місткості та комбінованого грунтообробного агрегату. Призначення агрегату базується на одночасному обробітку ґрунту за Strip-till технологією та внесенням рідких органічних добрив.

Загальний вигляд конструкції розробленого комбінованого грунтообробного агрегату для технології Strip-till представлено на рисунку 4.1.

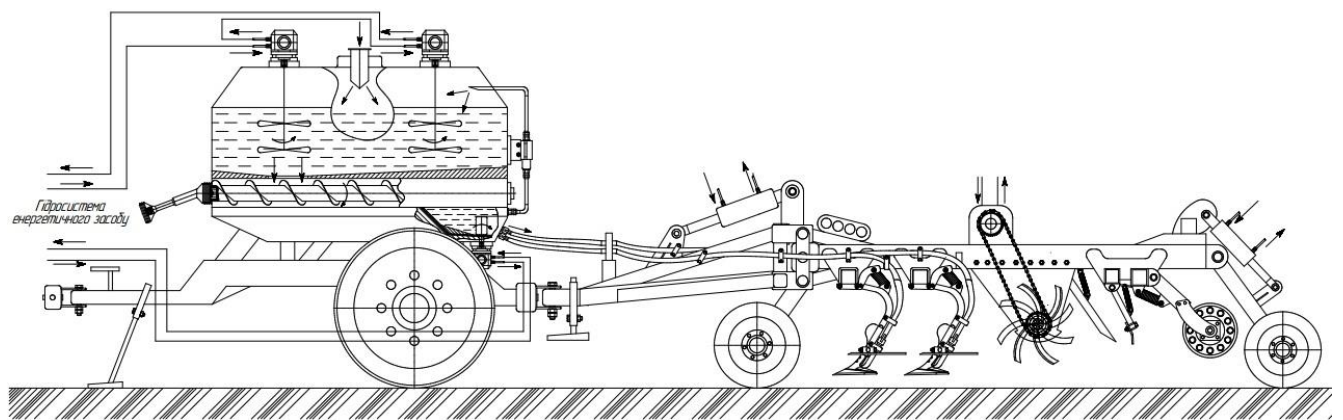


Рисунок 4.1 – Загальний вигляд конструкції комбінованого грунтообробного агрегату для технології Strip-till

Запропонований грунтообробний агрегат, конструкція якого приведена на рис. 4.1 призначений для передпосівного обробітку ґрунту за технологією Strip-till із шириною захвату 4 м. Грунтообробний агрегат за один прохід підготовлює смуги ґрунту на однакову глибину посівного “ложа” з одночасним внесенням органічних добрив, для посіву основних сільськогосподарських культур.

Робочими органами розробленого грунтообробного агрегату є: дві секції комбінованих грунтообробних лап з одночасним внесенням добрив; секція фрезерних барабанів; вирівнювальна планка та прикочувальний трубчатий каток.

Комбіновані ґрунтообробні лапи з одночасним внесенням добрив (рис. 4.2 а) призначені для підрізання кореневої системи бур'янів 7, яка призводить до випаровування вологи із нижніх шарів ґрунту 8, при цьому забезпечуючи стабільну глибину обробітку (h). Окрім цього, одночасно із підрізанням бур'янів відбувається внутрішньоґрунтове внесення добрив 9. Ґрунтообробні лапи працюють горизонтально, тим самим не перевертають шар ґрунту, при цьому зберігаючи вологу в ґрунті. Для очищення стійки лапи від налипання рослинних залишків змонтовано пристрій 6 для очищення.

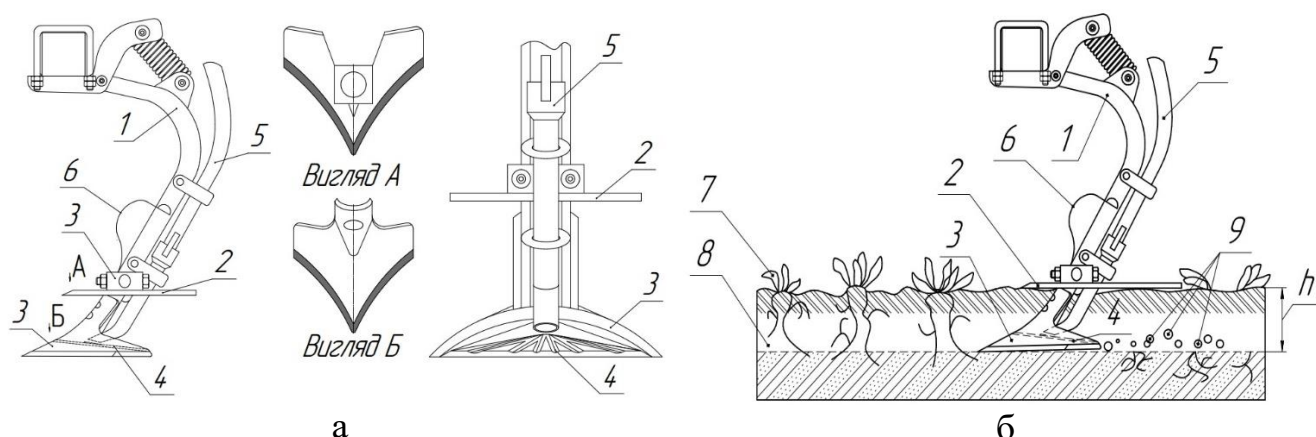


Рисунок 4.2 – Комбінована ґрунтообробна лапа з одночасним внесенням добрив та схема обробітку ґрунту лапою

Кут різальної частини лемішів лапи має форму криволінійного леза, виконаного вгнутим від носка лапи до кінця її крил (рис. 4.2 а), зробленим під кутом атаки 26-38°, лезо різальної частини має ширину 7-9 мм, що в результаті дозволить зменшити зусилля тертя леза із ґрунтом 8, тим самим покращити процес підрізання кореневої системи бур'янів 7 та зменшити енергозатрати.

Окрім цього, на стійку вмонтований верхній поверхневий леміш 2, який зрізає наземну частину бур'янів 7, руйнує утворення глиб та використовується для стабілізації руху лапи, на потрібну глибину обробітку (h).

Для внутрішньоґрунтового внесення (рис. 4.2 б) добрив 9 до кореневої системи рослин у задній частині стійки 1 змонтовано підвідний тукопровід 5 який забезпечує рівномірний розподіл добрив 9 по ширині обробітку лапи за допомогою розподільчих каналів 4, що знаходяться під кутом до поверхні обробітку ґрунту 8 у

внутрішньому просторі нижнього леміша 3, який зверху та знизу конструктивно закритий, що дозволить самоплинно потрапляти добриву 9 в борозну та забезпечить захист від забивання ґрунтом 8.

Секція фрезерних барабанів 10 (рис. 4.3 а) призначена для знищення та підрізання залишків кореневої системи бур'янів 7 на глибину обробітку ґрунту 8, інтенсивного кришіння та розпушування ґрунту 8, а також перемішування його мінеральних елементів із рослинними залишками, що є важливим при запровадженні технології Strip-till.

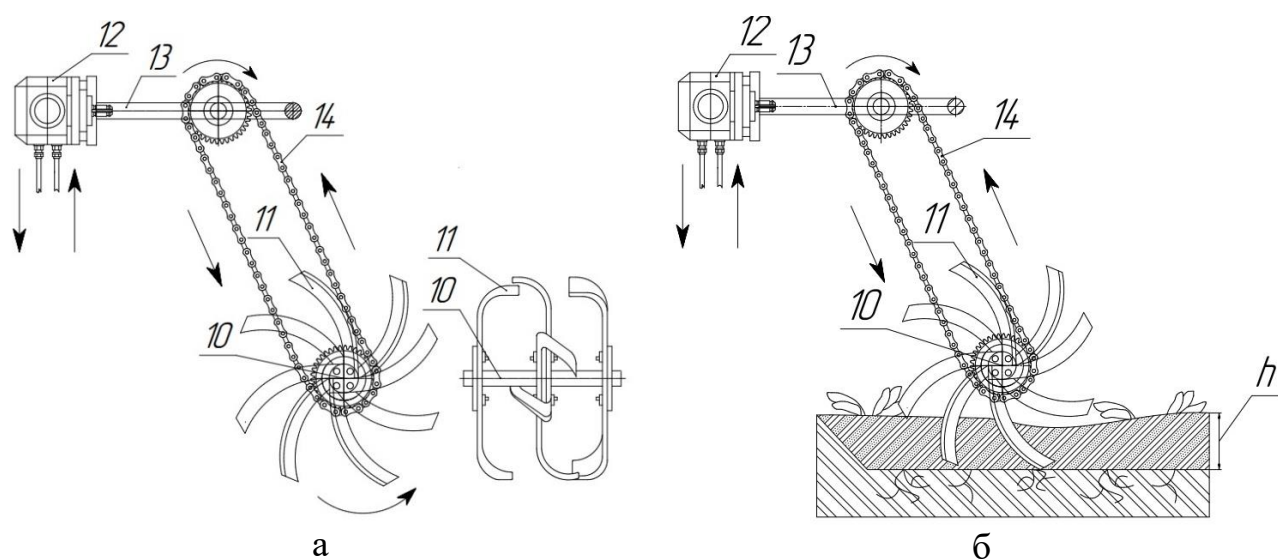


Рисунок 4.3 – Секція фрезерних барабанів та схема обробітку ґрунту робочим органом

Фрезерні барабани 10 обробляють смуги шириною 30 см. а між ними залишається необроблені смуги в 25-30 см., які вкриті рослинними залишками, згідно із технологією Strip-till. Забезпечують оптимальну підготовку посівного “ложе” для отримання однорідних сходів. Також, активно розбивають великі брили ґрунту, відмінно вирівнюючи робочу поверхню та забезпечує підготовку ґрунту до посіву культури (рис. 4.3 б). [стаття]

Фрезерні барабани приводяться в дію завдяки ланцюговій передачі 14, яка з'єднана з гідромотором 12 (Г4) через вісь обертання 13 від гідросистеми енергетичного засобу 31. Завдяки об'ємному гідроприводу є можливість

регулювати зміну частоти обертання ґрунтообробної фрези, за рахунок дросельного регулювання.

Заключною фазою є вирівнювання та ущільнення поверхні під посів. Для вирівнювання поверхні ґрунту під посів застосовується вирівнювальна планка 15 (рис. 4.4), тим самим згрібаючи залишки ґрунту 8 та бур'янів 7 (рис. 4.5).

Прикочувальний трубчатий каток 16 (рис. 4.4) прикочує, ущільнює та подрібнює великі грудки ґрунту 8 (рис. 4.5). Каток конструктивно виконаний з трубок, які розміщені по діагоналі 18, тим самим покращуючи процес кришіння та рихлення верхнього шару ґрунту (h). За допомогою бокових ножів 17 які вмонтовані на краях прикочувального трубчатого катка 16 відбувається формування смуги, яка піддається обробітці для подальшого посівів. За допомогою притискної пружини 19 відбувається копіювання рельєфу. [стаття]

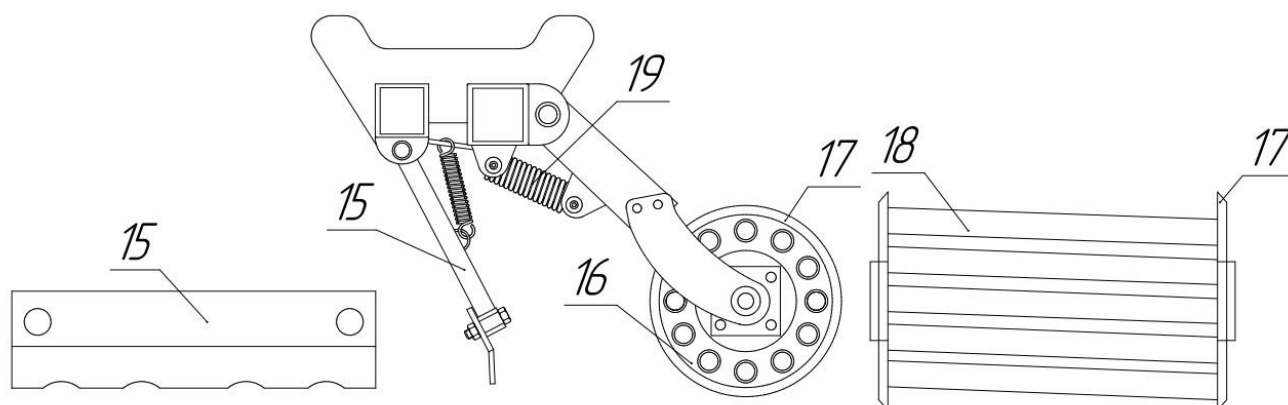


Рисунок 4.4 – Конструкція вирівнювальної планки та прикочувального трубчатого катку

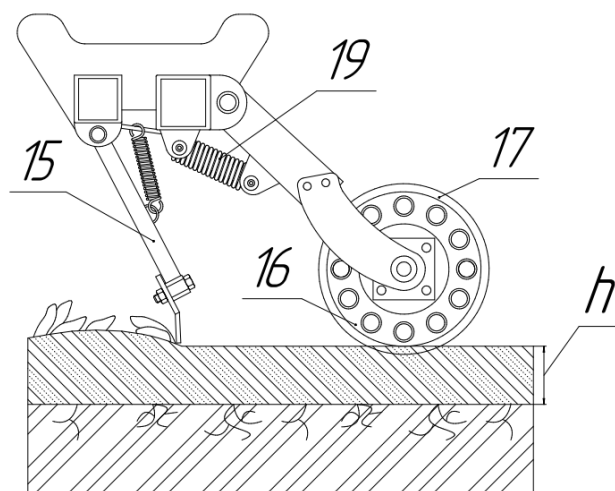


Рисунок 4.5 – Схема дії робочих органів на ґрунт

Підйом та опускання ґрунтообробного агрегату в робоче та транспортуюче положення відбувається завдяки двом гідроциліндрам 20, 21, які приводяться в дію від гідравлічної системи енергетичного засобу 31.

Окрім цього, в передній частині ґрунтообробного агрегату приєднаний мобільний резервуар 22 великої місткості (рис. 4.6) який встановлений на шасі. В середині резервуару вмонтована дві лопатеві мішалки 23, які приводяться в обертний рух від гідромоторів Г1 та Г2. Мішалки призначені для циклічного перемішування з метою надання однорідності рідини в процесі внесення. У верхній частині резервуару вмонтовано люк 24, в якому вмонтовано додаткову горловину з кришкою, що використовується для ручного завантаження субстрату.

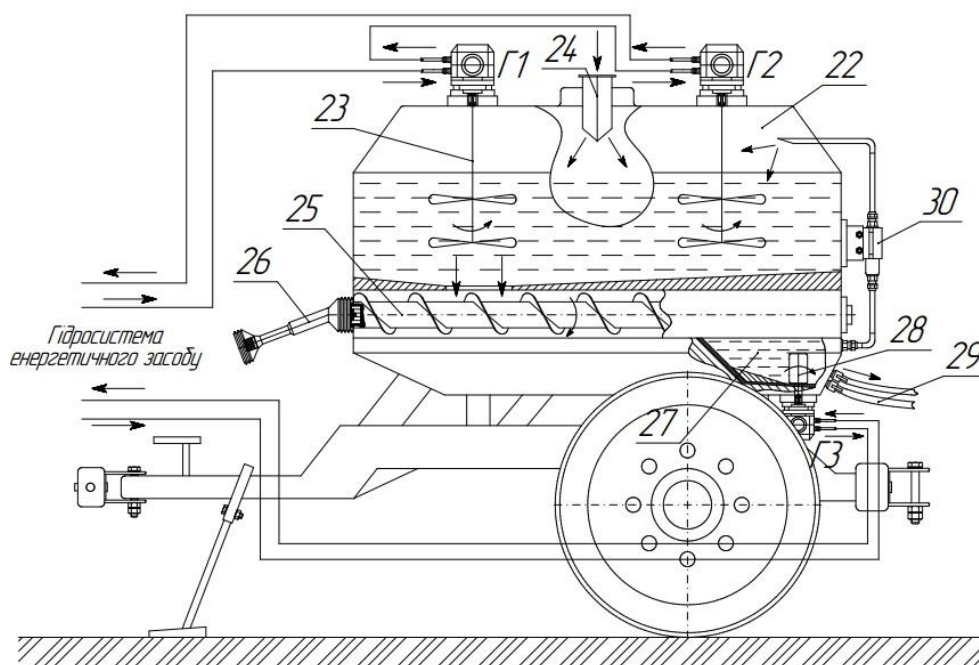


Рисунок 4.6 – Конструкція мобільного резервуару

В середині резервуару вмонтовано шнек 25, який призначений для транспортування органічного добрива до дозуючої камери 27. Приводиться в дію від валу відбору потужності 26 енергетичного засобу.

Для забезпечення рівномірної подачі добрив в задній нижній частині резервуару змонтований насос 28 подачі, який з'єднаний трубопроводами 29 із ґрунтообробними лапами, що приводиться в дію від гідромотора Г3. Гідромотор Г3

з'єднаний через дросельний вузол 33 із напірною магістраллю приводу фрезерних барабанів.

Привід гідромоторів Г1 та Г2 мішалок здійснюється послідовно від гідросистеми енергетичного засобу. Регулювання частоти обертання гідромоторів здійснюється за рахунок дросельного регулювання 32.

В разі виходу з ладу насосу подачі або його повного відключення, в конструкції передбачено додатковий канал з клапаном 30, для уникнення нагромадження добрива в дозуючій камері 27.

В загальному для відображення принципу дії активних елементів агрегату, представлено гідравлічну схему, яка наведена на рисунку 4.7.

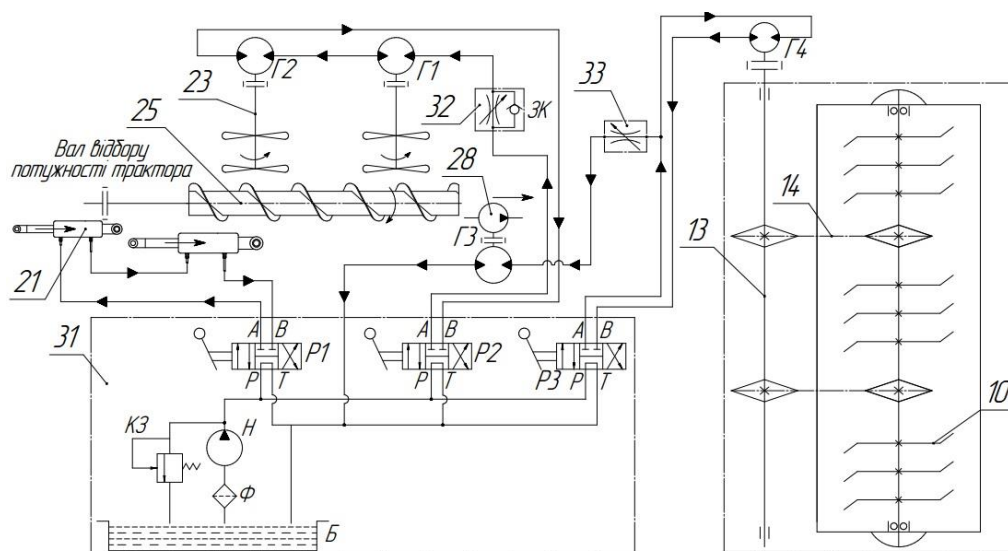


Рисунок 4.7 – Гідравлічна схема приводу робочих елементів агрегату

Конструкція запропонованого ґрунтообробного агрегату має не дуже великі габаритні розміри, що є доволі маневреним. Ширина захвату агрегату зменшить потребу в паливно-мастильних матеріалах під час експлуатації, при цьому агрегат забезпечує високу якість розпушування ґрунту та підготовку насінневого ложе при передпосівному обробітку ґрунту за технологією Strip-till [стаття студ].

В загальному за один робочий прохід ґрунтообробний агрегат виконує всі необхідні операції (рис. 4.8) для передпосівного обробітку ґрунту, а саме:

- розпушує ґрунт, та змішує рослинні залишки із ґрунтом;

- локально вносить добрива до кореневої системи посівних культур, тим самим покращуючи доступ поживних речовин;
- створює якісне насінневе “ложе” на потрібну глибину обробітку;
- подрібнює та прикочує шар ґрунту під насінневе “ложе”;
- обробляє ґрунт без перевертання пласту, тим сам зберігаючи вологу та гумус у ґрунті.

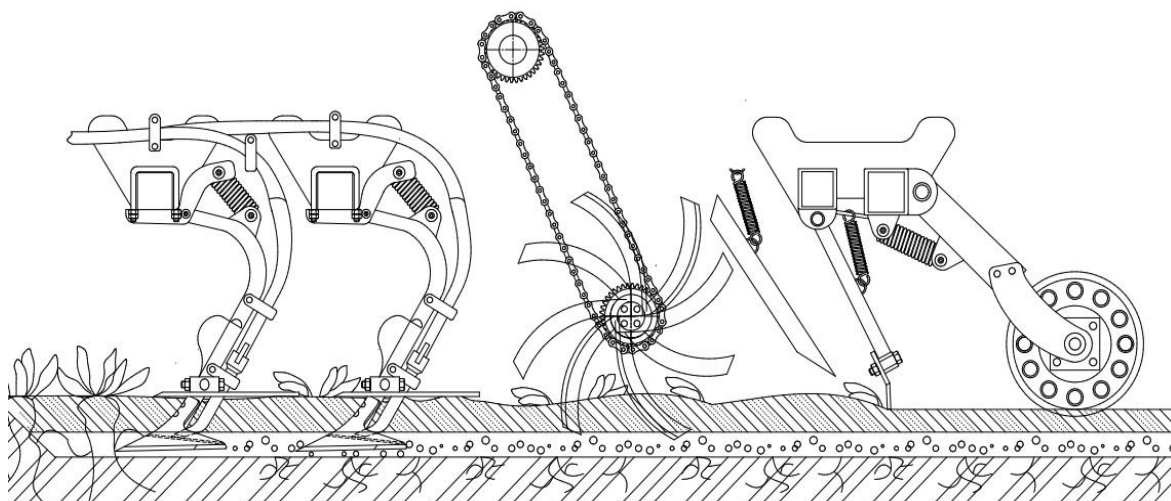


Рисунок 4.8 – Схема обробітку ґрунту агрегатом для технології Strip-till

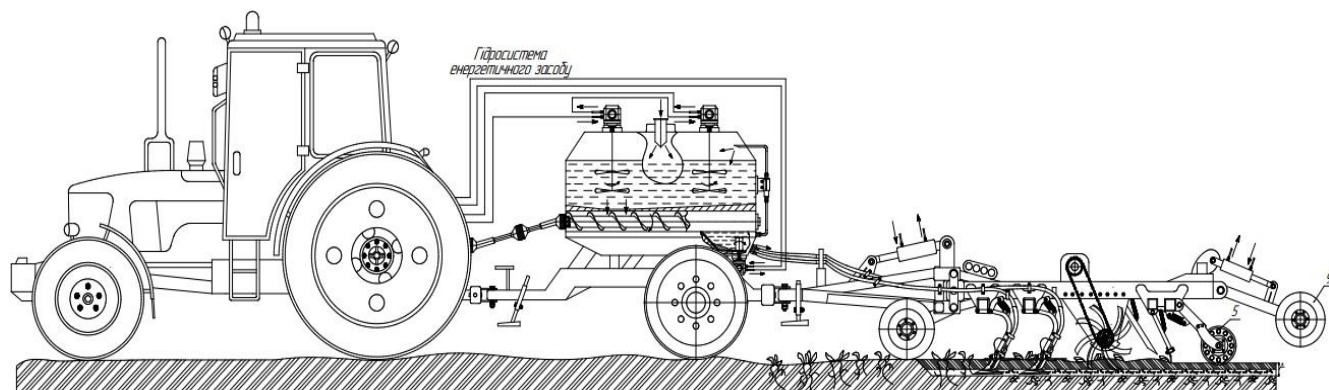


Рисунок 4.9 – Загальний вигляд машинно-тракторного агрегату для технології Strip-till

Тому, завдяки кращому насінневому “ложе”, дрібній фракції ґрунту та добре ущільненому ґрунті краще формується коренева система посівних культур. Бур’яни, які після проходу комбінованих ґрунтообробних лап 1 з одночасним внесенням добрив зрізаються та подрібнюються фрезерними барабанами 10, окрім цього, в ґрунт вносяться добрива 9, прикочувальний каток 16 та вирівнювальна

планка 15 – вирівнюють ґрунт та ущільнюють його, тим самим готуючи ідеальне насінневе “ложе”. Великі грудки, які після проходження ґрунтообробних лап подрібнюються фрезерними барабанами, а катком та планкою – вирівнюються.

4.3 Економічна ефективність від впровадження Strip-till технології обробітку ґрунту

Економічна ефективність впровадження інноваційної ґрунтозберігаючої Strip-till технології обробітку ґрунту проводиться відповідно до реальних умов. Підґрунтям для оцінки є дані, отримані під час агротехнічних та експлуатаційно-технологічних досліджень в типових умовах, із застосуванням необхідної для цього довідниково-нормативної документації.

За основу впровадження пропонується технологія Strip-till, яка оцінюється за наступними показниками:

- економічний ефект впровадження за рахунок суттєвих знижень експлуатаційних затрат при використанні технології Strip-till;
- економічний ефект отримання доходу за рахунок суттєвого підвищення врожайності посівних культур при посіві за технологією Strip-till;
- економічний ефект за рахунок поєднання операцій передпосівного обробітку ґрунту та скорочення витрат паливно-мастильних матеріалів, затрат праці.

Витрати на виготовлення однієї секції ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till, визначаються з формули:

$$V_{\text{га}} = V_{\text{к.д.}} + V_{\text{о.д.}} + V_{\text{пк.д.}} + V_{\text{зп}} + V_{\text{з.в.}}, \text{ грн} \quad (4.1)$$

де $V_{\text{к.д.}}$ – витрати, на виготовлення корпусних деталей, грн;

$V_{\text{о.д.}}$ – витрати, виготовлення оригінальних деталей, грн;

$V_{\text{пк.д.}}$ – витрати, на закупку деталей, грн;

$V_{\text{зп}}$ – витрати, на заробітну плату виробничого персоналу, грн;

$V_{\text{з.в.}}$ – накладні витрати, пов’язані із виготовленням конструкції, грн.

Звідси, затрати на виготовлення корпусних деталей, визначається з формули:

$$V_{к.д.} = K_{м.м.} \cdot P_{в.м.}, \text{ грн} \quad (4.2)$$

де $K_{м.м.}$ – вага матеріалу, який застосовується для виготовлення корпусних деталей (двоюрисної стрілчатої лапи з одночасним внесенням добрив, фрезерні барабани, каток, кріплення робочих органів і т.д.), кг;

$P_{в.м.}$ – середня вартість, виготовлених корпусних деталей ($P_{в.м.} = 96$ грн), грн.

$$V_{к.д.} = 145 \cdot 96 = 13920 \text{ (грн)}.$$

Затрати на виготовлення оригінальних деталей (втулки, болти, пальці), визначаються з формули:

$$V_{о.д.} = V_{з.п.р.} + K_{м.з.}, \text{ грн} \quad (4.3)$$

де $V_{з.п.р.}$ – витрати, пов'язані з виплатами робітниками, які займаються виготовленням оригінальних деталей (із врахуванням соціальних страхувань, додаткову заробітну плату), грн;

$K_{м.з.}$ – вартість заготовок, які задіяні у виготовленні оригінальних деталей ($K_{м.з.} = 8456$ грн), грн.

$$V_{о.д.} = 11836 + 8456 = 20292 \text{ (грн)}.$$

Витрати, пов'язані із виплатами працюючих, визначаються за формулою:

$$V_{зп} = V_{п} + V_{зпд} + V_{сс}, \text{ грн} \quad (4.4)$$

де $V_{п}$ – витрати, працюючих задіяних в процес виготовлення та збирання ґрунтообробного агрегату, визначається з формули:

$$V_{п} = C \cdot T_{п} \cdot K_{с}, \text{ грн} \quad (4.5)$$

$$V_{п} = 67 \cdot 58,8 \cdot 1,09 = 4295 \text{ (грн)}.$$

де C – часова ставка робочого за розрядом ($C = 91$ грн), грн;

$T_{п}$ – трудомісткість процесу збору конструкції ($T_{п} = 58,8$ люд.-год), люд.-год.;

$K_{с}$ – відношення оперативного часу до повного під час збирання агрегату ($K_{с} = 1,09$);

$V_{зпд}$ – додаткова заробітна плата ($V_{зпд} = 350$ грн), грн;

$V_{сс}$ – соціальне страхування ($V_{сс} = 1670$ грн), грн.

$$V_{зп} = 4295 + 350 + 1670 = 6315 \text{ (грн)}.$$

Накладні витрати, пов'язані із виготовленням конструкції, визначаються з формули:

$$V_{з.в.} = V_{о.д.} \cdot K_{з.в.}, \text{ грн} \quad (4.6)$$

де $K_{з.в.}$ – коефіцієнт, загальновиробничих витрат ($K_{з.в.} = 0,16 \dots 0,19$).

$$V_{з.в.} = 24292 \cdot 0,17 = 4129,6 \text{ (грн)}.$$

Тоді, загальні витрати на виготовлення однієї секції ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till, становлять:

$$V_{га} = 13920 + 20292 + 5600 + 6315 + 4129,6 = 50256,6 \text{ (грн)}.$$

При цьому, загальні затрати на виготовлення ґрунтообробного агрегату з 5 секцій, для технології Strip-till, визначається з формули:

$$V_{га} = n_c \cdot V_{га} + V_{рга}, \text{ грн} \quad (4.7)$$

де n_c – кількість секцій ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till;

$V_{г.а.}$ – витрати, на виготовлення однієї секції ґрунтообробного агрегату, грн;

$V_{рга}$ – витрати, на виготовлення рами ґрунтообробного агрегату ($V_{рга} = 34762$ грн), грн.

$$V_{га} = 5 \cdot 50256,6 + 4762 = 256045 \text{ (грн)}.$$

Економічна ефективність застосування машинно-тракторного агрегату для технології Strip-till проводиться в залежності від глибини обробітку ґрунту. Для аналізу використано 3 рівня глибини обробітку, такі як: $h_1 = 0,18$ м; $h_2 = 0,23$ м; $h_3 = 0,29$ м.

Витрати, пов'язані з виплатами заробітної плати для обслуговуючого персоналу, визначається з формули:

$$V_{о.пер.} = \frac{K \cdot N \cdot P}{W_{га}}, \text{ грн} \quad (4.8)$$

де K – коефіцієнт нарахування заробітної плати, ($K = 1,17$);

N – кількість обслуговуючого персоналу, ($N=3$);

P – заробітна плата обслуговуючого персоналу (при традиційній технології становлять – 6487 грн/люд.-год, а при Strip-till – 2598 грн/люд.-год), грн;

$W_{га}$ – продуктивність ґрунтообробної машини, г/год.

Витрати, пов'язані з виплатами персоналу, при традиційному землеробстві, становлять:

$$V_{\text{о.пер.}} = \frac{1,17 \cdot 3 \cdot 6487}{4} = 5692,3 \text{ (грн).}$$

Витрати, пов'язані з виплатами персоналу, при виконанні всіх операцій за технологією Strip-till, становлять:

$$V_{\text{о.пер.}} = \frac{1,17 \cdot 3 \cdot 2598}{5} = 1823,8 \text{ (грн).}$$

Амортизаційні відрахування, визначають з формули:

$$A = \frac{V_{\text{г.а.}} \cdot k_a}{W_{\text{г.а.}} \cdot T_3}, \text{ грн/га} \quad (4.9)$$

де $V_{\text{г.а.}}$ – вартість ґрунтообробного агрегату, грн;

k_a – коефіцієнт відрахування на амортизацію, ($k_a = 0,14$);

$W_{\text{г.а.}}$ – продуктивність ґрунтообробного агрегату, га/год;

T_3 – річне напрацювання ґрунтообробного агрегату, г.

При традиційному землеробстві, застосовується наступна техніка: енергетичний засіб John Deere-8520, культиватор John Deere-637, борона John Deere-2210, сівалка точного висіву 1745, оприскувач John Deere 4038.

При впровадженні технологій Strip-till, застосовується наступна техніка: енергетичний засіб John Deere-8520, розроблений ґрунтообробний агрегат, сівалка точного висіву 1745, оприскувач John Deere 4038.

Амортизаційні відрахування при традиційній технології, становлять:

$$A = \frac{1480202 \cdot 0,14}{7 \cdot 310} + \frac{587560 \cdot 0,14}{5,4 \cdot 163} + \frac{652748 \cdot 0,14}{3,6 \cdot 137} + \frac{869372 \cdot 0,14}{6 \cdot 167} + \frac{573290 \cdot 0,14}{78 \cdot 49} = 516,7 \text{ (грн/га).}$$

Амортизаційні відрахування при запровадженні технології Strip-till становлять:

$$A = \frac{1480202 \cdot 0,14}{7 \cdot 310} + \frac{587560 \cdot 0,14}{6,7 \cdot 163} + \frac{869372 \cdot 0,14}{6 \cdot 167} + \frac{573290 \cdot 0,14}{78 \cdot 49} = 331,4 \text{ (грн/га).}$$

Витрати, пов'язані із закупкою паливно-мастильних матеріалів, визначається з формули:

$$V_{\text{пмм}} = q \cdot Q_{\text{пал}} \cdot U, \text{ грн} \quad (4.10)$$

де q – витрата палива на одиницю роботи, кг/га;

$Q_{\text{пал}}$ – вартість 1 кг палива (вартість дизельного палива на 2021 рік – 28,6 грн);

U – вартість мастильних матеріалів (коефіцієнт врахування мастильних матеріалів – 1,1), грн.

Витрати, пов'язані із закупкою паливно-мастильних матеріалів при обробітку за традиційною технологією, включаючи всі технологічні операції, становлять:

$$V_{\text{пмм}} = 78,9 \cdot 28,6 \cdot 1,1 = 2482,2 \text{ (грн)}.$$

Витрати, при впровадженні технології Strip-till із використанням розробленого ґрунтообробного агрегату, становить:

$$V_{\text{пмм}} = 33,7 \cdot 28,6 \cdot 1,1 = 1060,2 \text{ (грн)}.$$

Витрати, пов'язані з ремонтом техніки:

$$V_{\text{рт}} = \frac{V_{\text{т}} \cdot Z_{\text{рт}}}{W_{\text{г.а}} \cdot T_{\text{з}}}, \text{ грн} \quad (4.11)$$

де $V_{\text{т}}$ – балансова вартість техніки (енергетичний засіб, ґрунтообробний агрегат), грн;

$Z_{\text{рт}}$ – коефіцієнт відрахування, на ремонт та технічне обслуговування;

$W_{\text{г.а}}$ – продуктивність ґрунтообробного агрегату, га/год;

$T_{\text{з}}$ – річне напрацювання ґрунтообробного агрегату, г.

Затрати на ремонт при традиційній технології, становлять:

$$V_{\text{рт}} = \frac{1480202 \cdot 0,126}{7 \cdot 310} + \frac{587560 \cdot 0,126}{5,4 \cdot 163} + \frac{652748 \cdot 0,126}{3,6 \cdot 137} + \frac{869372 \cdot 0,126}{6 \cdot 167} + \frac{573290 \cdot 0,126}{78 \cdot 49} = 465 \text{ (грн)}.$$

Затрати на ремонт при впровадженні технології Strip-till, становлять:

$$V_{\text{рт}} = \frac{1480202 \cdot 0,126}{7 \cdot 310} + \frac{587560 \cdot 0,126}{6,7 \cdot 163} + \frac{869372 \cdot 0,126}{6 \cdot 167} + \frac{573290 \cdot 0,126}{78 \cdot 49} = 298,3 \text{ (грн)}.$$

Звідси, прямі експлуатаційні затрати на одиницю роботи розробленого ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till визначаємо за формулою:

$$E_z = V_{\text{о.пер.}} + A + V_{\text{пмм}} + V_{\text{рт}}, \text{ грн} \quad (4.12)$$

Звідси, прямі експлуатаційні затрати на одиницю роботи за традиційною технологією обробітку ґрунту, становлять:

$$E_{\text{зтр}} = 5692,3 + 516,7 + 2482,2 + 465 = 9156,2 \text{ (грн).}$$

Прямі експлуатаційні затрати на одиницю роботи розробленого ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till, становлять:

$$E_{\text{зсм}} = 1823,8 + 331,4 + 1060,2 + 298,3 = 3513,7 \text{ (грн).}$$

Економічний ефект від впровадження механізованих робіт за технологією Strip-till становить:

$$X_{\text{н.т.}} = V_{\text{тт}} - V_{\text{нт}}, \text{ грн} \quad (4.13)$$

Виходячи з розрахунків, які наведені вище, економічний ефект від впровадження Strip-till технології, становить:

$$X_{\text{н.т.}} = 9156,2 - 3513,7 = 5642,5 \text{ (грн).}$$

Для інших параметрів, розрахунки проводяться аналогічно та результати експлуатаційних витрат на обробіток ґрунту за технологією Strip-till для різних рівнів обробітку зведені в таблицю 4.1

Таблиця 4.1 – Результати експлуатаційних витрат в залежності від глибини обробітку за технологією Strip-till

Параметр	Глибина обробітку ґрунту		
	h ₁ = 0,18 м	h ₂ = 0,23 м	h ₃ = 0,29 м
1	2	3	4
Заробітна плата персоналу, грн	1615,9	1823,8	2149,3
Амортизаційні відрахування, грн	298,2	331,4	356,8
Ремонт та обслуговування машинно-тракторних агрегатів, грн	236	298,3	314,8
Паливно-мастильні матеріали, грн	968,3	1060,2	1251,9
Експлуатаційні витрати, грн/га	3267,8	3513,7	3928

Проаналізувавши результати розрахунків, бачимо що при збільшенні глибини обробітку ґрунту від 0,18 м до 0,29 м експлуатаційні витрати на обробіток ґрунту – збільшуються з 3267,8 до 3928 грн/га. Тому, виходячи з цього, глибина обробітку ґрунту за технологією Strip-till та доза внесення добрив (мінерального та органічного) визначається в залежності від отриманого врожаю та собівартості виготовлення сільськогосподарської продукції.

Результати проведених розрахунків економічного ефекту застосування Strip-till технології зведені в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Економічні показники впровадження технології Strip-till

Параметр	Традиційне землеробство із застосуванням традиційних ґрунтообробних агрегатів	Застосування технології Strip-till із розробленим ґрунтообробним агрегатом
1	2	3
Заробітна плата персоналу, грн/га	5692,3	1823,8
Амортизаційні нарахування, грн/га	516,7	331,4
Витрати, на ремонт та технічне обслуговування техніки, грн/га	465	298,3
Паливно-мастильні матеріали, грн/га	2482,2	1060,2
Засоби захисту рослин, грн/га	1482	1937
Мінеральні добрива, грн/га	1256	853
Насіння посівних культур, грн/га	1560	1560
Економічний ефект від впровадження Strip-till технології (мінімізація механічного впливу на ґрунт), грн	5642,5	

В результаті розрахунків, можна дійти висновку, що впровадження Strip-till технології обробітку ґрунту дає колосальний економічний ефект, а саме від скорочення кількості технологічних операцій по технології виготовлення сільськогосподарської продукції, який становить – 5642,5 грн/га. Окрім цього, важливим показником є зменшення механічного впливу на ґрунт, зменшенням кількості технологічних операцій, суттєва економія паливно-мастильним

матеріалів, але саме головне при впровадженні Strip-till технології відбувається збереження основного показника родючості ґрунту – гумусу, так як при технології не відбувається перевертання родючого шару ґрунту.

4.4 Загальні висновки до розділу 4:

1. Ґрунтообробний агрегат за технологією Strip-till обробляє за один прохід лише близько 30% площі, а отже, відбувається економія близько 70% енергетичних ресурсів, до того ж для посіву формуються смуги достатньо широкі і оброблений ґрунт швидко прогрівається, зменшуються процес випаровування вологи та дія вітрової і водної ерозії.

2. Окрім цього, перевага розробленого ґрунтообробного агрегату перед аналогами полягає в тому, що за один робочий прохід агрегат виконує всі необхідні операції для обробітку ґрунту за технологією Strip-till, а саме: розпушує ґрунт, та змішує рослинні залишки із ґрунтом; локально вносить добрива до кореневої системи рослини, тим самим покращуючи доступ поживних речовин; створює якісне насінневе “ложе” на потрібну глибину; подрібнює та прикочування шар ґрунту під насінневе “ложе”; обробляє ґрунт і зберігає вологу з гумусом у ґрунті.

3. Впровадження Strip-till технології обробітку ґрунту дає колосальний економічний ефект, а саме від скорочення кількості технологічних операцій по технології виготовлення продукції, який становить – 5642,5 грн/га. Окрім цього, важливим показником є зменшення механічного впливу на ґрунт, зменшенням кількості технологічних операцій, суттєва економія паливно-мастильним матеріалів, але саме головне при впровадженні Strip-till технології відбувається збереження основного показника родючості ґрунту – гумусу, так як при технології не відбувається перевертання родючого шару ґрунту.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що для вирішення проблеми збереження потенційної родючості ґрунту, раціонального його використання, зменшення ерозійних процесів та створення сприятливих умов для проростання і розвитку насіння посівних культур, необхідно негайно впроваджувати ґрунтозберігаючі технології обробітку ґрунту.

Оптимальною та раціональною для впровадження на території Вінницької області є Strip-till технологія обробітку ґрунту, основою якої є відтворення ґрунтової родючості; збереження ґрунту від водної та вітрової ерозії; збільшення запасу біоти та ґрунтової вологи; поліпшення мінерального живлення рослин.

Технологія Strip-till є перспективним напрямком розвитку ґрунтозберігаючого землеробства країни, що дозволяє істотно знизити інтенсивність техногенного впливу на ґрунт, тим самим зберегти або підвищити ґрунтову родючість у багаторічному аспекті.

2. В результаті теоретичного обґрунтування, встановлено, що найбільш ефективним робочим органом є стрічата лапа, яка забезпечує підрізання бур'янів з кутом кришіння $\alpha=0$. При цьому, виконується підрізання бур'янів та розпушування ґрунту в зоні контакту, забезпечується умова руйнування капілярів, які сприяють випаровуванню ґрунтової вологи; стабільна глибина обробітку ґрунту (за рахунок верхнього леміша), що дорівнює глибині загортання насіння. Ширина захвату ґрунтообробної лапи $b = 250-300$ мм ширина катку не повинна бути більшою ніж 300 мм.

3. Удосконалена математична модель дозволить на основі результатів оцінки основних параметрів машинно-тракторного агрегату визначати та встановлювати оптимальний склад та режими роботи агрегату для технології Strip-till.

Встановлено, що оптимальна робоча швидкість руху 2,21 м/с (8 км/год) та глибина обробітку, яка знаходиться в межах 0,18-0,29 м., при цьому робоча ширина захвату складе 4 м. При цьому, отримані значення округлені до значень ширини

міжрядь смуг для технології Strip-till. Звідси, продуктивності агрегату та питома витрата палива енергетичним засобом перебувають в межах 13,67-8,9 га/год, і 0,79-1,17 л/га. Виходячи з цього, отримані дані охоплюють практично весь досліджуваний діапазон глибини обробітку ґрунту і швидкості руху, тому є оптимальними з точки зору завантаження енергетичного засобу та виконання робіт за Strip-till технологією обробітку ґрунту.

Окрім цього, встановлено, що для успішної роботи ґрунтообробної фрези необхідна потужність на фрезерування ґрунту становить $N = 9,7$ кВт, радіус обертання ножів $R = 0,335$ м, кількість ножів $Z = 4$, глибина обробітку ґрунту $a = 0,17-0,29$ м, загальна кількість ножів $Z_c = 32$, частота обертів фрезерного барабану $= 350$ об/хв, швидкість різання ґрунту $I_p = 3,9$ м/с.

4. Розроблена конструкція ґрунтообробного агрегату за технологією Strip-till обробляє за один прохід лише близько 30% площі, а отже, відбувається економія близько 70% енергетичних ресурсів, до того ж для посіву формуються смуги достатньо широкі і оброблений ґрунт швидко прогрівається.

Окрім цього, перевага розробленого ґрунтообробного агрегату перед аналогами полягає в тому, що за один робочий прохід агрегат виконує всі необхідні операції для обробітку ґрунту за технологією Strip-till: розпушує ґрунт, та змішує рослинні залишки із ґрунтом; локально вносить добрива до кореневої системи рослини, тим самим покращуючи доступ поживних речовин; створює якісне насінневе “ложе” на потрібну глибину; подрібнює та прикочування шар ґрунту під насінневе “ложе”.

Впровадження Strip-till технології обробітку ґрунту дає колосальний економічний ефект, а саме від скорочення кількості технологічних операцій по технології виготовлення продукції, який становить – 5642,5 грн/га. Важливим показником є зменшення механічного впливу на ґрунт, зменшенням кількості технологічних операцій, суттєва економія паливно-мастильних матеріалів, але саме головне при впровадженні Strip-till технології відбувається збереження основного показника родючості ґрунту – гумусу, так як при технології не відбувається перевертання родючого шару ґрунту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Strip-till в малих та середніх господарствах: перспективи впровадження [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://propozitsiya.com/ua/stryp-till-v-malyh-ta-serednih-gospodarstvah-perspektyvu-vprovadzhennya>

2. Аналіз стану ґрунтів сільськогосподарських угідь (за даними ДУ “Інститут охорони ґрунтів України”).: оф. веб-сайт. URL: <http://www.iogu.gov.ua/> (дата звернення 05.03.2021 р.).

3. Бакум М. В. Проектування сільськогосподарських машин. Частина 1. Плуги загального призначення / М. В. Бакум, С. П. Нікітін, А. В. Сергеева; за ред. М. В. Бакума. – Харків: ХДТУСГ, 2003. – 336 с.

4. Булгаков В.М., Цурпал І.А., Шелудченко Б.А. Факторно технологічна модель динаміки ґрунтових структур та її аналіз. *Наук. вісник НАУ*. 1998. №3. С. 139-143.

5. Відтворення родючості ґрунтів у ґрунтозахисному землеробстві. Наукова монографія / Національний аграрний університет. Під ред. Н.К. Шикучи. Київ. ПФ «Оранта», 1998. 680с.

6. Гунько І.В., Музичук В.І., Служалюк М.В. Дослідження технічного сервісу машин в АПК. *Техніка, енергетика та транспорт АПК*. 2019. №2 (105). С. 43–51.

7. Г.М. Калетнік, М.Г. Чаусов, М.М. Бондар та ін. Машини та обладнання в сільськогосподарській меліорації: Підручник. К.: Хай-Тек Прес, 2011. 488 с.

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

9. Гаркавий А.Д., Петриченко В.Ф., Спірін А.В. Конкуренентоспроможність технологій і машин. Вінниця: Тірас. – 2003. – 68 с.

10. Д. Г. Войтюк, В. М. Барановський, В. М. Булгаков та ін. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник К.: Вища освіта. 2005. 464 с.

11. Д. Г. Войтюк, С. Е. Яцун, М. Я. Довжик Теорія сільськогосподарських машин: Практикум: Навч. посібник. Суми.: ВТД «Університетська книга». 2008. 201 с.

12. Євтушенко В. Strip-Till в Україні. Досвід використання strip-till в Україні на прикладі СТОВ «Дружба Нова». *The Ukrainian Farmer*. 2012. № 9. С. 99-100.

13. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин, Том 1, частина 1. Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. Харків.: Око, 2001. 444 с.

14. Застосування смугового обробітку в малих та середніх господарствах. *Аграрна техніка та обладнання*. 2018. №1. С. 56-60.

15. И.А. Немировский, В.Ф Маркин, Л.П. Серeda, В.В Яницкий Гидроприводы сельскохозяйственных машин. К.: Техніка. 1979. 137 с.

16. **Ковальчук Д.А.** Математичне моделювання ґрунтообробного агрегату для Strip-till технології обробітку ґрунту. *Збірник студентських наукових праць “Сільськогосподарські науки”*. 2021. №3 (3). С..

17. **Ковальчук Д.А.** Розробка та обґрунтування комбінованого передпосівного агрегату для технології Strip-till фермерських підприємств. *Збірник студентських наукових праць “Сільськогосподарські науки”*. 2021. №1 (1). С. 110-114.

18. Козішкурт С.М., Савчук Н.В. Основні причини погіршення ґрунтово-екологічних умов земель, *Зрошуване землеробство: сьогодення, проблеми, перспективи*, ДДАЕУ, 2017 с. 104-106.

19. Крачок Л. І. Новітні технології в сільському господарстві: проблеми і перспективи впровадження / Л. І. Крачок // Сталій розвиток економіки. Міжнародний науково-виробничий журнал. – 2013. – №3.

20. Яропуд В. М., Твердохліб І. В., Спірін А. В. Машини та обладнання і їх використання в рослинництві: навч. посіб. Вінниця: ВНАУ, 2020. 401 с.

21. Петерсен Майк, Грінченко С. Нові перспективи із Strip-till. Ґрунтозахисна технологія Strip-till дозволяє поєднати переваги традиційного землеробства і прямої сівби. *The Ukrainian Farmer*. 2012. № 8. С. 88-90.

22. Порівняння систем обробітку ґрунту [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://vnis.com.ua/useful-information/advice-to-the-agronomist/Porivnyannya-system-obrobitku-gruntu%E2%80%93perevahy-ta-nedoliky/>

23. Пришляк В.М., Ковальчук О.В., Яропуд В.М. Робочі процеси сільськогосподарських машин. Машини для обробітку ґрунту, посіву, догляду за рослинами. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» спеціалізації «Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва» денної форми навчання. Вінниця: ВНАУ, 2017. 76 с.

24. Про збереження та відтворення родючості ґрунтів. *Інформаційно-аналітичні матеріали НААН України щодо наукового обґрунтування заходів із збереження та відтворення родючості ґрунтів*. Вересень 2018.

25. Про охорону земель: Закон України від 19.06.2003р № 962-IV, ВВР, 2003, № 39, ст.349 зі змінами від 20.09.2019р. № 124-IX, ВВР, 2019, № 46, ст.295.

26. Серeda Л. П. Технологія Strip-till в рослинництві. Перспективність впровадження в Україні. Сучасні проблеми землеробської механіки : матеріали XX міжнародної наукової конференції, присвяченої 119- й річниці з дня народження академіка П.М. Василенка, 17-19 жовтня 2019 р. Миколаїв : МНАУ, 2019. С. 70–74.

27. Серeda Л. П., Швець Л. В., Труханська О. О. Внесення органічних рідинних добрив в умовах фермерських господарств. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2019. №2 (105). С. 25–30.

28. Серeda Л.П, Швець О.І. Технологія STRIP-TILL в рослинництві. Перспективність впровадження в Україні. *Вісник аграрної науки Причорномор'я "Ukrainian Black Sea region agrarian science"*, № 4, 2019.

29. Серeda Л.П. Технологія Strip-till в рослинництві. Перспективи впровадження в Україні. *Зрошувальне землеробство, ДДАЕУ*. 2017 С. 104-107.

30. Твердохліб І.В., Борисюк Д.В., Захарчук С.А., Петрович Є.В. Перспективи розвитку машин для обробітку ґрунту. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2015. №2 (90) С. 5-9.

31. Серода Л.П., **Ковальчук Д.А.**, Обґрунтування параметрів ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2021 №3 (114). С. 30-40.

32. Серода Л.П., **Ковальчук Д.А.**, Розробка комбінованого ґрунтообробного пристрою для ресурсощадних технологій обробітку ґрунту. «*Інноваційні технології в АПК*»: матеріали VIII Всеукраїнської наук.-прак. конф., (м. Луцьк, 20-21 травня 2021 р.). м. Луцьк, 2021. С. 116-118.

33. Серода Л.П., Купчук І.М., **Ковальчук Д.А.**, Замрій М.А., Розробка пристрою для фрезерного обробітку ґрунту з одночасним внесенням добрив. *Техніка, енергетика, транспорт в АПК*. 2021. Вип. №1 (112). С. 152-161.

34. Серода Л.П., Труханська О.О., Швець Л.В. Розробка і дослідження ґрунтообробної машини для технології Strip-till з активними фрезерними робочими органами. *Вібрації в техніці і технологіях*. 2019. Вип. 4 (95). С. 65-71.

35. Серода Л.П., Швець Л.В., Швець О.І. Розробка культиватора для нових технологій обробітку ґрунту. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2020. №3 (110). С. 117-125.

36. Серода Л.П., **Ковальчук Д.А.** Патент №147341 Україна, МПК (2021.01) А01В 49/00. Патент опубліковано 28.04.2021 р., бюл. №17/2021. Патент: «Багатофункціональний сільськогосподарський мотоблок».

37. Серода Л.П., Руткевич В.С., Зінев М.В. Study of the mathematical model of hydraulic drives segment-finger mower unit. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2018. № 1 (100). С. 111 –123.

38. Стан українських ґрунтів [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://superagronom.com/news/9421-stan-ukrayinskih-gruntiv-staye-problemoyu-ekologichnoyi-bezpeki-krayini>.

39. Сучасна техніка та технології [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://klyuch.com.ua/articles/economy/suchasna-tekhnika-ta-tekhnologiyi/>

40. Солоня О. В., Купчук І.М. Практикум з теорії механізмів і машин: навч. посіб. Вінниця: ВНАУ, ТОВ “Друк”. 2020. 252 с.

41. Тищенко С.С., Дубровін В.О., Теслюк В.В., Волянський М.С. Сільськогосподарські машини. Теорія і розрахунок робочих органів машин для поверхневого обробітку ґрунту : навч. посіб. Київ.: *Компанія «Аграр Медіа Груп»*. 2014. 162 с.

42. Хайліс Г.А. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: Навч. посіб. К.: НМК ВО, 1992. 320 с.

43. Шустік Л., Громадська В., Мариніна Л., Негуляєва Н., Супрун В. Шляхи реалізації технологій смугового обробітку ґрунту в малих і середніх господарствах. *Техніка і технології АПК*. 2017. №11. С.16-20.