

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Таврійський державний агротехнологічний університет**  
**імені Дмитра Моторного**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав. каф. “Машиновикористання в землеробстві”

доц. \_\_\_\_\_ Володимир КУВАЧОВ

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

***Пояснювальна записка***

до дипломної роботи здобувача СВО Магістр  
(ступінь вищої освіти)

на тему: «Удосконалення механізованого процесу глибокого обробітку ґрунту  
способом копання у СТОВ «Південе» Великолепетиського району Херсонської  
області»

**31МЗД.013.000000ПЗ**

Виконав: здобувач ВО 2 курсу, групи 21МБ АІ  
спеціальності 208 Агроінженерія  
за ОПП Агроінженерія  
(шифр і назва спеціальності та ОПП)

Іван КЛЕЦКО

(підпис)

Мелітополь - 2021 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного

Інститут, факультет МТ Кафедра машиновикористання в землеробстві

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 208 Агроінженерія  
(шифр і назва)

ОПП Агроінженерія  
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МВЗ

доц. Володимир КУВАЧОВ

“ ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) ЗДОБУВАЧУ ВО**

**КЛЕЦКО Івану Миколайовичу**

1. Тема проекту (роботи): Удосконалення механізованого процесу глибокого обробітку ґрунту способом копання у СТОВ «Південе» Великолепетиського району Херсонської області

керівник проекту (роботи) Мітков В.Б., к.т.н., доцент,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом університету від “13” жовтня 2020 року № 1428-С

2. Строк подання здобувачем ВО проекту (роботи) 1 лютого 2021 року.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) аналіз літературних джерел по темі дипломної роботи.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Визначити стан проблеми та поставити мету і завдання досліджень.

2. Провести дослідження процесу глибокого обробітку ґрунту способом копання.

3. Навести результати теоретичних досліджень.

4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

5. Визначити техніко-економічну ефективність запропонованих рішень.

6. Сформулювати загальні висновки по роботі.

7 Навести перелік посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників)

1. Способи механічного подрібнення ґрунту.

2. Ґрунтообробні машини з активним проводом робочих органів.

3. Ґрунтообробний робочий орган та його характеристики.

4. Графіки зміни крутного моменту.  
 5. Результати роботи копачів.  
 6. Техніко-економічні показники роботи.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Розділ 4	проф. Рогач Ю.П.		

7. Дата видачі завдання 15.10.2020 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
Стан проблеми, мета і завдання досліджень	До 01.11.2020.	
Теоретичні дослідження процесу глибокого обробітку ґрунту способом копання	До 20.11.2020.	
Результати роботи копачів та їх аналіз	До 10.12.2020.	
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	До 10.01.2021.	
Техніко-економічна ефективність пропонованих рішень	До 20.01.2021.	
Закінчення роботи та подання її на кафедру	До 01.02.2021.	

**Здобувач ВО**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Іван КЛЕЦКО**

(власне ім'я та прізвище)

**Керівник**

**проекту (роботи)**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Василь МІТКОВ**

(власне ім'я та прізвище)



## РЕФЕРАТ

**Дипломна робота:** 73 сторінки машинопису, 5 розділів, 17 рисунків, 4 таблиці, 44 джерела літератури.

**Графічна частина роботи** – 6 листів формату А1.

**Метою роботи** є дослідження механізованого обробітку ґрунту способом копання.

**Об'єкт розробки** – процес взаємодії копальних робочих органів з ґрунтом, що змінюють його фізичні властивості та покращують екологічну безпеку.

**Предмет досліджень** – закономірність впливу конструктивних і технологічних режимів роботи робочих органів копального типу.

У першому розділі проведено аналіз існуючих технологій обробітку ґрунту, поставлені мета і задачі дослідження, наведено переваги використання активних робочих органів при глибокому обробітку ґрунту та показані результати патентного пошуку вже існуючих моделей машин з активним приводом робочих органів. У другому розділі представлені дослідження впливу параметрів та конструкції сільськогосподарського знаряддя для обробітку ґрунту способом копання. В третьому розділі наведено результати теоретичних досліджень, та проведено аналіз отриманих результатів.

Проаналізовані, обґрунтовані та розроблені заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Оцінено економічну ефективність від застосування сільськогосподарського знаряддя для глибокого обробітку способом копання.

**Ключові слова:** КОПАЧ, РОТОР, ЕНЕРГОВИТРАТИ, ОБРОБІТОК ГРУНУ, СПОСОБ КОПАННЯ, ЕФЕКТИВНІСТЬ.

## ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	9
1.1 Аналіз механізованих технологій обробітку ґрунту	9
1.2 Ротаційні копачі в екологічному землеробстві	12
1.3 Патентний пошук	18
1.4 Мета і задачі роботи	27
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГЛИБОКОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ СПОСОБОМ КОПАННЯ (КОПАЧАМИ)	28
2.1. Програма і методика досліджень	28
2.2 Дослідження впливу параметрів та конструкції сільськогосподарського знаряддя для обробітку ґрунту способом копання	30
3 РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ КОПАЧІВ ТА ЇХ АНАЛІЗ	42
3.1 Технічні результати роботи копача	42
3.2 Екологічні наслідки роботи копача	43
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	54
4.1 Нормативна база з охорони праці в рослинництві	54
4.2 Аналіз небезпечних факторів	56
4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях	58
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ	62
ВИСНОВКИ	68
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	69

## ВСТУП

Землеробство являється найстародавнішою наукою, що створилася разом із людиною. Найперші зусилля людей були спрямовані на вирощування культур, котрі забезпечували їх їжею. Основна задача землеробства була і залишається сталою: забезпечення людини їжею і отримання високих врожаїв.

У сучасних умовах обробіток ґрунту залишається найважливішим елементом системи землеробства, який забезпечує регулювання продуктивності ріллі і витрат енергії, збереження верхнього шару ґрунту від ерозії, підвищення родючості і ефективного використання органічних й мінеральних добрив в результаті їх повного загортання в ґрунт.

Рішення цього питання йшло шляхом інтенсифікації використання хімічної родючості ґрунтів природного походження. З появою систематизованих наукових знань були висунуті задачі збереження ґрунтової родючості. Вчені зробили великий вклад в рішення цих задач.

Тим не менш збільшення затрат ресурсів і праці при інтенсивному землекористанні супроводжувалось зменшенням виробництва валового сільськогосподарського продукту. При цьому факт зниження природної родючості були відомі, але не отримали належної протидії. Нерентабельність ґрунтозахисних заходів обумовлювалась рівнем розвитку науки та техніки, а також економічною політикою в області сільського господарства. На сьогоднішній день в Україні за даними різних дослідників площа деградованих земель і малородючих ґрунтів становить від 6,5 до 10 млн. га.

Окрім економічного фактору, що обмежує можливість збереження родючості ґрунтів існує проблема технічного забезпечення. Наявні засоби обробки не дотримують виконання агрономічних вимог.

У сучасних умовах становлення ринкової економіки і нових виробничих відносин у сільському господарстві України, в якому гостро відчувається дефіцит багатьох видів ресурсів виробництва та наростання екологічної напруженості, важливо визначити пріоритети технічної політики, які змогли б забезпечити

системну єдність техніки, технологій і навколишнього природного середовища, знищувати негативні наслідки машинних технологій, впроваджувати ресурсозберігаючі екологічно безпечні механізовані процеси.

Тим не менш якісна оцінка складових ґрунтової родючості та досвід використання існуючих систем і способів обробки ґрунту дозволяє здійснювати пошук нових, більш ефективних способів механічної обробки ґрунту, що технологічно будуть знаходитись між крайніми по своїм техніко-економічним та екологічним наслідкам варіантами їх обробок. При цьому механізація нових способів та заходів обробки повинна спиратись на останні досягнення в області науки та техніки.

Найбільш енергоємним у сучасному землеробстві є основний обробіток ґрунту, який передбачає підготовку ґрунту до нормального проростання і розвитку культурних рослин. Приділяючи увагу питанню винаходу нових, більш досконалих ґрунтообробних органів можна справити великий вплив на розвиток сільського господарства, покращити стан ґрунтів, зменшити енергоємність обробки ґрунту, покращити родючість.

Великий вклад в пошук принципово нових методів обробки ґрунту зробили такі вчені: Д.Н. Листопад, Ю. Ф. Новіков, В.Т. Надикто, В.О. Улексін, П.М. Василенко, А.Д. Далін, П.Т. Бабій, В.М. Соколов, Б.Д. Докін і т. д.

В роботі розглядається питання глибокого обробітку ґрунту, використання останніх технічних досягнень. З метою розробки нових ґрунтообробних робочих органів, які забезпечують більш якісний обробіток та зменшують ерозійні процеси. Основна увага приділяється збереженню родючості ґрунту та використанню засобів у екологічному землеробстві.



# 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ, МЕТА І ЗАДАЧІ РОБОТИ

## 1.1 Аналіз механізованих технологій обробітку ґрунту

Важливим елементом системи землеробства є система обробітку ґрунту. Значення механічного обробітку ґрунту зумовлене дією на всі його властивості та наявність у ньому земних факторів життя рослин, які визначають родючість. Неправильно проведений обробіток ґрунту завдає йому значної шкоди, знижуючи потенційну й ефективну родючість. Спостереженнями вчених встановлено рівні впливу на врожайність вирощуваних культур агротехнічних заходів при сумісному їх застосуванні: удобрення ґрунту - 50, обробіток - 20, сорти - 10, захист від шкідливих організмів - 20% [26].

По-перше, обробітком регулюють фізичний стан ґрунту, оптимальними, нормативними параметрами якого залежно від гранулометричного складу є щільність ґрунтів, вміст не менше 70% агрономічно цінних структурних грудочок (агрегатів) розміром 0,25–10 мм, твердість, повітроємність — не менше 15% об'єму ґрунту, загальна щільність — 50–55%, водопроникність. Указані параметри забезпечать найкращий водний, повітряний, тепловий та поживний режими в ґрунті [23].

По-друге, обробіток сприяє створенню відповідного просторового типу агрохімічного середовища в кореневмісному шарі, сприятливого для певних рослин. Для рослин із неглибокою кореневою системою (зернові, колосові, зернобобові, льон) кращим станом цього середовища буде той, при якому мінеральні добрива вносять у верхній шар ґрунту на глибину 5–15 см. Так відбувається й у природних умовах при гетерогенному типі агрохімічного середовища в ґрунті, коли поживні речовини і гумус у ґрунті зосереджуються в цьому шарі. Для рослин із глибокою кореневою системою (цукрові буряки, кукурудза, соняшник, картопля) краще за умов рівномірного розподілу внесених добрив в обробленому шарі, гомогенного його типу. Важливо й те, що неглибоке загортання органічних добрив і рослинних решток краще сприяє утворенню гумусу, який є результатом біохімічного перетворення органічних речовин аеробними мікроорганізмами в ґрунті.

По-третє, обробітком ґрунту виконують завдання захисту вирощуваних культурних рослин від шкідливих організмів — бур'янів, шкідників і хвороб, регулюючи умови екологічного середовища. Тривалими дослідженнями встановлена тактика досягнення істотного зниження забур'яненості ріллі заходами обробітку ґрунту.

По-четверте, для землеробства небайдужою є також економічна ефективність заходів обробітку ґрунту. На виконання системи обробітку ґрунту в землеробстві України у середньому припадає 40% прямих експлуатаційних витрат, 41 — енерговитрат, 25% затрат праці. Різні заходи обробітку ґрунту істотно відрізняються за енерговитратами, тому вибір їх повинен бути спрямований на виконання поставленої перед ними мети й окупність витрат на їх виконання. Не менш важлива екологічна безпека цих заходів. Серед них є такі, що проявляють мобілізуючу дію на запаси ґрунтової родючості (полицевий), а інші ощадливіше впливають на їх використання (безполицеві та поверхневі).

Інтенсивне застосування систематичної оранки ґрунтів в умовах України у 60-80-і роки навіть на фоні внесення органічних і мінеральних добрив було не останньою причиною істотного зменшення кількості в них гумусу. Середній вміст його в ґрунтах за вказані 20 років знизився від 3,5% до 3,2%, що на 1–2% менше від оптимуму [3]

У країні тепер 48% ріллі піддається негативному впливу водної та вітрової ерозії. Інтенсивність ерозійних процесів нині перевищує природне ґрунтоутворення у 2–10 разів [3]. Негативної дії зазнають ґрунти й від фізичної ерозії, яка проявляється в їх переуцільненні під впливом проходів на полях тракторів і сільськогосподарських машин. За сучасних інтенсивних технологій кількість проходів агрегатів на полях сягає 8–16, а переуцільнення ґрунту при цьому поширюється на глибину 60–100 см.

На сьогодні у інтенсивному землеробстві використовують три основні системи обробки ґрунту: мінімальну, нульову і відвальну.

Мінімальна система обробки ґрунту набуває популярності в різних підприємствах України. Основним її позитивним фактором являється зниження затрат на глибокий обробіток ґрунту. Але ця система не задовольняє всім агровимогам. Система призначена на основі мінімального втручання в ґрунтову екосистему зменшувати ефективність ґрунтів з мінімальними темпами. Зменшені

витрати на механічні обробки, але збільшені витрати на знищення бур'янів та забезпечення життєздатності рослин.

Незадовільна екологічна ефективність консервуючої ґрунтообробки безперечно витікає із законів землеробства. Вирощування біомаси генетично культурних рослин, що в десятки разів перевищує врожайність їх диких родичів, безперечно зумовлюється розвитком такої ж потужної кореневої маси. Згідно закону рівнозначності і незамінності факторів життя рослин, культурні рослини для формування потужної кореневої системи потребують пухкої структури ґрунту з щільністю суттєво меншою за рівнозначну. Мобільні енергетичні засоби з колісним чи гусеничними ходовими системами впродовж року ущільнюють ґрунт, збільшуючи її щільність від оптимальної. Таким чином мінімальний обробіток ґрунту традиційною технікою, навіть за наявної орієнтованих систем хімізації та агротехніки поки що не має остаточних, загальних для всіх випадків, рішень на свою користь.

Нульова система обробки ґрунту довела свою ефективність в окремих випадках, таких як підвищена загроза вітрової та водяної ерозії, недостатнє зволоження, застосування деяких спеціальних технологій. Однак валова продуктивність сільського господарства, заснована лише на цій системі, залишається сумнівною. Збитки для врожайності, що наносяться ходовими системами традиційних МТА, не дозволяє вважати нульову систему обробки універсальною задовольняючою. Тому вона не займає домінуючого положення у світовому землевикористанні.

Традиційною вважається відвальна система обробки ґрунту [17]. Ця система передбачає в якості основної обробки – осінню оранку з обертом прошарку ґрунту та застосуванням передплужників та кутознімачів. Культурна оранка, таким чином, являється головною ланкою інтенсивного землеробства.

До позитивних явищ оранки традиційними плугами можна віднести: зароблення в ґрунт поживних речовин та створення умов для їхнього перегнивання; глибоке зароблення збудників хвороб і насіння бур'янів, що перешкоджає їх проростанню; добре розпушення верхнього шару ґрунту, що накопичує в кореновому шарі велику кількість вологи до початку вегетації культурних рослин та створюючи

умови для активної роботи мікробів, що приймають участь у процесі мінералізації гумусу, забезпечення культури елементами живлення [29]

Недоліками цієї системи обробки являється деградація якості ґрунту за рахунок прискореної мінералізації гумусу в верхньому шарі ґрунту. Висока гребнистість підвищує вплив водяної та повітряної ерозії. Великий вплив на стан ґрунту має маса трактора, який виконує операцію. Необхідність приводити у дію клиноподібний робочий орган з горизонтальним різанням через тягове зусилля потребує застосування важких тракторів, які ущільнюють ґрунт на глибину більшу ніж хід лемеха плуга, що сприяє утворенню плужної підшви – переущільненого прошарку ґрунту, розташованого нижче орного шару. Плужна підшва перешкоджає нормальному газо- і водообміну в ґрунті, заважає розвитку кореневої системи культурних рослин і, як наслідок, призводить до зниження врожайності сільськогосподарських культур. Ущільнений таким чином ґрунт втрачає структуру, яка не відновлюється суто механічним розпушенням.

## **1.2 Ротаційні копачі в екологічному землеробстві**

Найбільш поширеним процесом основної обробки ґрунту є оранка за допомогою лемішно-полицевого плуга. Але застосування плуга у землеробстві має ряд негативних факторів.

До важливого недоліку роботи плуга можна віднести виконання ним лише однієї операції і необхідність послідувочого обробки. Після обробки плугом виникає необхідність вирівнювати ґрунт, додатково розпушувати верхній шар ґрунту, прикочувати і т. д. Для цього використовують борони, луцильники, культиватори, котки і т. д. Додатковий обробіток зумовлює додаткові витрати на паливно-мастильні матеріали та додаткові проходи енергетичних засобів, що негативно впливає на стан ґрунтів. Ущільнений таким чином ґрунт не розпушується суто механічним способом.

Економічним фактором обмежуючим використання плуга є велика енергоємність процесу. Для виконання цієї операції в обмежені строки необхідна велика кількість механізаторів. Як зазначається у статті [5] «Землеробство без

відвального плуга інтенсивно розвивається і витісняє традиційні технології через економічний стан у сільському господарстві.»

Ущільнення ґрунту через рушії колісних тракторів призводить до порушення структури родючого шару, що в свою чергу призводить до втрати врожайності культивованих рослин [1]. До того ж низький ККД МТА тягової концепції через надмірні витрати енергії через надмірні витрати енергії на його самопересування та необхідність розпушування ущільненого ґрунту говорить не в користь так званого традиційного обробітку. Так, за даними ВІМ в результаті попереднього ущільнення рушіями гусеничних, важких колісних тракторів в слідах опір оранці зростає на 16...25%, 44...65% відповідно (а саме важкі трактори и проводять оранку). [28]

Ущільнення ґрунту призводить до порушення газо- і водообміну, ускладнення ґрунту руху поживних речовин і живих організмів, які населяють родючий шар агрофону, утруднює розвиток кореневої системи культурних рослин, знижуючи тим самим їх врожайність.

Бажання досягти меншого ущільнення середовища розвитку культурних рослин знаходиться в певній суперечності з прагненням підвищити продуктивність, що являється одним із основних факторів успішного інтенсивного землеробства. Річ у тому, що більшість сучасних робочих органів побудовано за тяговою концепцією: різання, переміщення та подрібнення пласта виконується за рахунок поступального руху машини. Передача потужності від енергетичного засобу до робочих органів здійснюється через тягове зусилля на гаку ( $P_1$ ), для створення якого тягова машина повинна опиратися на ґрунт і відштовхуватися від нього:

$$P_1 = \varphi_{\text{доп}} \cdot G_{\text{зч}} = \varphi_{\text{доп}} \cdot \lambda \cdot m_1 \cdot g, \quad (1.1)$$

де  $\varphi_{\text{доп}}$  – коефіцієнт зчеплення, допустимий за умовою буксування;

$\lambda$  – коефіцієнт вертикального навантаження рушіїв;

$m_1$  – маса тягової машини;

$g$  – прискорення вільного падіння.

Як видно з формули (1.1), чим більше тягове зусилля необхідно створити,

тим більша повинна бути зчіпна вага, а відповідно і маса тягової машини. А відповідно це приведе до більшого ущільнення ґрунту рушіями машини.

Енергетичною проблемою плужного обробітку, а відтак і взагалі обробки клиноподібними робочими органами слід зазначити занадто низький ККД клиноподібного робочого органа, в якому до 50% підведеної механічної енергії втрачається на тертя між робочими поверхнями і ґрунтом. [25]

Правомірно припустити, що в процесі тертя між скибою і робочою поверхнею ґрунту не тільки втрачається енергія, а ще й здійснюється руйнування ґрунтових мікроагрегатів. Відносна величина цих руйнувань у порівнянні з об'ємом розпушеної скиби незначна, що на фоні наявності запасу родючості малопомітно. Але наявність цього процесу сприяє загальній деградації ґрунтів

Доволі важливим недоліком плужного обробітком ґрунтом являється також не досконале дотримання агротехнічним умовам. Річ у тому, що максимальний ефект при оранці в області перевертання орного шару та зароблення бур'янів досягається при повному перевертанні пласту, тобто обертанню його на  $180^{\circ}$ . Але, як свідчить практика, це майже неможливо досягти при роботі плуга. Повного обертання шару ґрунту можна досягти лише у тому випадку, коли обробляється добре зв'язаний шар ґрунту, наприклад луг, степ чи залеглі ґрунти. Традиційно вважається, що при традиційній оранці верхній шар обертається тільки на  $135^{\circ}$ , тобто плуг не відповідає всім агро вимогам [27].

Для забезпечення рослин достатньою кількістю вологи, мінералів та дотримання інших агро вимог виділяють чотири наступні основні функції, які повинні виконувати ґрунтообробні знаряддя:

По-перше знаряддя повинно розпушувати ґрунт до визначеної щільності, так як відхилення призводить до зменшення врожайності рослин.

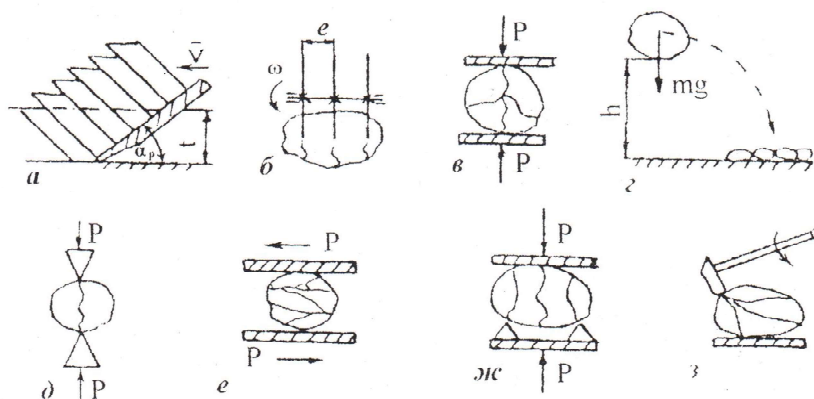
По-друге - перевертати орний шар. Хоч агротехнічні вимоги не для всіх випадків та не для всіх кліматичних зон рекомендують проводити таку операцію. Проте перевертання орного шару в більшості випадків являється корисною операцією, що дозволяє заробити в ґрунт верхній пошкоджений тракторними ходовими частинами шар ґрунту, рослинні залишки, стерню та насіння бур'янів.

По-третє перемішати та вирівняти шар ґрунту, при чому виникає більш рихла структура, в котрій рівномірно розміщуються добрива.

Вчетверте – вирівняти ґрунт. Хвилі і гребні заважають роботі машин, створюють нерівномірність водного режиму, підвищують випаровування, підвищують повітряну ерозію [27].

У зв'язку з вищесказаним все більше уваги приділяється засобам обробки ґрунту з активними робочими органами – роторами. Якщо при роботі плуга тяговий ККД трактора не перевищує 65-75%, то при роботі з тягово-приводними машинами з передачею енергії через ВВП тяговий ККД істотно підвищується [4]. Тяговий засіб у таких машин потрібен лише для спрямування ходу машини. Створення порівняно невеликих тягових зусиль може бути здійснено відносно легким трактором. Це зменшує навантаження на ґрунт, що дає змогу поліпшити стан і родючість ґрунтів та підвищення загального ККД агрегату. Тобто, очікувана врожайність повинна досягатися при менших витратах енергії. При цьому, машини активної дії будуть складнішими у виготовленні через більш складну форму робочих органів, організацію більш складного їх руху та необхідність застосування спеціальної трансмісії.

Окрім традиційного принципу обробки ґрунту методом різання клином, що використовується при оранці плугом вчені виділяють ще сім різних способів подрібнення ґрунту. Всі вони наведені в рисунку 1.1



а – різання клином, б – сепарація, в – роздавлювання, г – гравітаційне падіння,  
 д – розколювання, е – розтирання, ж – зламівання, з – удар

Рисунок 1.1 - Способи механічного подрібнення ґрунту

Аналіз дії ґрунтообробних органів приводить до висновку, що в кожному з них при роботі здійснюється одночасно декілька способів подрібнення ґрунту [31]. При проектуванні ґрунтообробних машин слід намагатися створити умови подрібнення з найменшими витратами енергії, для чого слід уважно відноситися до явищ тертя між поверхнею робочого органу та ґрунтом.

Цікавим у цьому плані є застосування у ґрунтообробних машинах принципу подрібнення по “перетинах слабких зв’язків”, який полягає у наступному. Замість руйнування шару ґрунту по перетинах, обумовленим тректоріями руху робочих органів, яке ми називаємо різанням, його розділяють на частини невизначеної форми по ослаблених перетинах, утворених порожнинами - тріщинами і пористістю у ґрунті. Це дозволяє зменшити загальні енерговитрати процесу.

Переконливим фактором на користь копачів являються наступні позитивні фактори:

1. При копанні не утворюється плужної підшви. В результаті опади вільніше проникають в нижні горизонти, поліпшуються водопроникність і аерація ґрунту, розвиток кореневої системи рослин, приплив вологи та поживних речовин з нижніх горизонтів.

2. Після обробки копачами на полі відсутні звальні гребені та розвальні борозни, що виключає необхідність додаткової обробки.

3. На поверхні ґрунту залишається велика кількість мікровпадин, які сприяють затриманню опадів.

4. Копачі мають окремий привід, що зменшує необхідне для роботи тягове зусилля і сприяє зменшенню тягового класу трактора для агретування.

При традиційному глибокому обробітку ґрунту застосовують плуги. Однак при цьому на дні борозни утворюється “плужна підшва”, котра перешкоджає проникненню у нижні шари горизонту коріння рослин, заважає повітрообміну, викликає ерозію ґрунту. Ресурсо-, енерго- та вологозберігаючі технології обробки ґрунту, котрі знаходять все більше розповсюдження у нашій країні, виключають застосування плугів.

В даний час у світовому землеробстві розробляється, вивчається і



впроваджується кілька напрямів альтернативного землеробства. Поєднання агрономічних, екологічних і економічних ознак галузі створює передумови розробки і впровадження у виробництво зональних адаптивних систем з різним рівнем інтенсифікації. Такі системи землеробства можуть бути реалізовані в господарствах залежно від спеціалізації, екологічних умов агро ландшафтів та технічних можливостей. Основою таких систем землеробства є інтенсивні технології вирощування сільськогосподарських культур. Проте для реалізації біологічного потенціалу вирощуваних культур потрібні високі агрофони, надійний захист культурних рослин від шкідливих організмів - бур'янів, шкідників та хвороб. Як наслідок, зросли витрати ресурсів і енергії, виникла низка екологічних проблем, які пов'язані з підтриманням та поліпшенням родючості ґрунтів, забрудненням продукції галузі землеробства та довкілля. Актуальність уникнення вказаних негативних явищ виклала пошуки альтернативних систем землеробства. Об'єктивним напрямом такого пошуку стала екологізація галузі, складовими якої є екологічно обґрунтовані елементи системи землеробства.

Екологічне землеробство – це сукупність галузей сільськогосподарського виробництва, заснованих на раціональному використанні ґрунту з метою вирощування сільськогосподарських культур без порушення природного середовища. К галузям землеробства відносять рільництво, овочівництво, садівництво, луківництво, виноградарство.

Екологічне землеробство засновано на застосуванні органічних добрив та зниженні кількості застосованих при виробництві мінеральних добрив та засобів захисту рослин, а іноді і відмові від них. Площі, зайняті під екологічне землеробство, постійно збільшуються (рисунок 1.3).

Екологічно чисту обробку ґрунту можна проводити тільки тоді, коли вона економічно доцільна.

Однією з важливих ланок системи екологічного землеробства є механічний обробіток ґрунту [35]. В екологічному землеробстві для основного обробку ґрунту використовують ротаційні машини - копачі, що сприяють розуцільненню ґрунту.

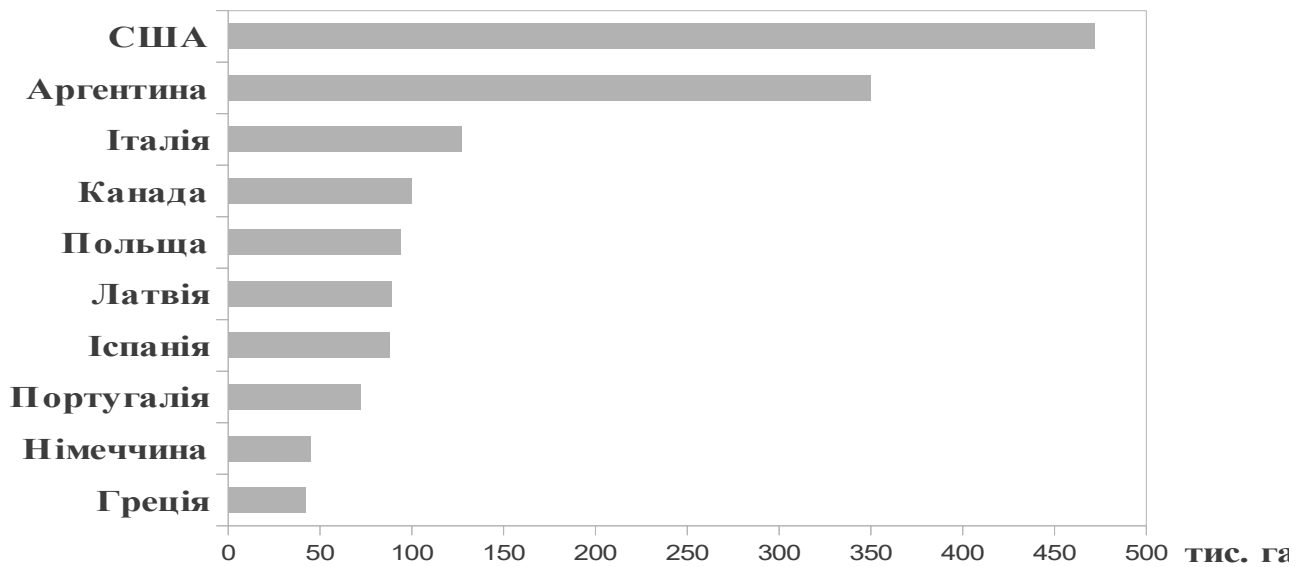


Рисунок 1.3 – Площі, зайняті під екологічне землеробство

Оскільки для реалізації обробки ґрунту потребується більші витрати енергії та тривалість часу, ніж для інших сільськогосподарських операцій (наприклад внесення добрив, захисту рослин), а витрати енергії залежать від стану ґрунту (гранулометричного складу, вологості, щільності і ін.), то вибір технічних засобів обумовлюється станом, в якому знаходиться ґрунт. Одним із показників, що характеризує витрати енергії являється питома робота, що змінюється від 30 до 130.

При обробці ґрунту ротаційними копачами поступальне переміщення агрегату виконується одночасно з обертальним рухом робочого органу, що значно збільшує інтенсивність впливу робочого органу на ґрунт. Впродовж цього процесу велике значення має довжина шляху різання, що змінюється у ротаційних машин від 0,03 до 0,3 м.

В перших ґрунтообробних машинах з механічним приводом робочі органи здійснювали зворотно-коливальний рух та мали форму лопат або вил. Це пов'язано з тим, що вчені, що винаходили таку машину, йшли шляхом імітації ручних прийомів [21].

### 1.3 Патентний пошук

Однією з перших відомих машин для механізованого основного обробітку

ґрунту була парова машина Купера (1875 р.), яку через подібність роботи до ручного копання називали землекопом (рисунок 1.2) і яку можна віднести до першого ротаційного плуга. Схема роботи цієї машини зводила до мінімуму різання ґрунту, а задовільна якість розпушування досягалась розриванням пласта вилоподібними робочими органами. Відмічається, що після проходу машини залишилась добре вирівняна та розпушена поверхня, не створювалось ущільнення по дну борозни, але обертання пласта та загортання рослинних решток у порівнянні з плугом були незадовільні. Машина працювала з паровим трактором, який, як і машина Купера, не одержав розповсюдження. Цілком можливо припустити, що в цій машині якраз і було реалізовано ще не сформульований тоді принцип подрібнення ґрунту по «перетинах слабких зв'язків».

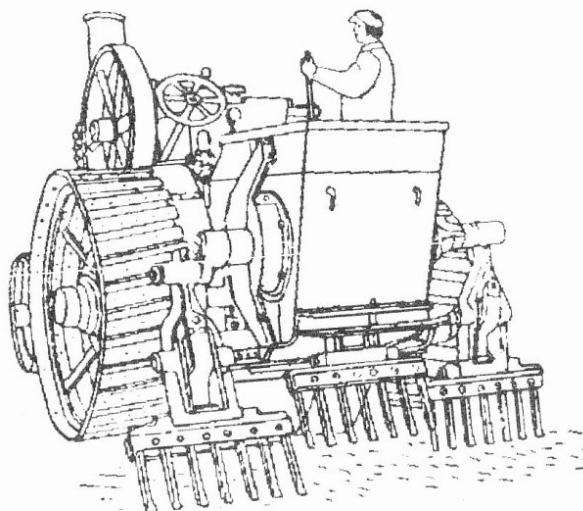


Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд парової машини Купера

Іншими винахідцями були: Вільям Мерс, Франсис Кон, Луциус Гіббс, Джон Гілмор Джонс, Джордан Гілс та Вільям Мачес. Через незадовільну якість роботи ці машини не отримали подальшого розвитку і лише в Італії продовжувалися дослідження.

У наш час в Італії ряд фірм такі як Gramegna, FALC, Chelly, Sikma, Nardi випускають копачі з коливальним рухом робочих органів (рисунок 1.3). Робочий процес таких копачів є аналогією копання ґрунту лопатою вручну: леза чергуючись

входять у ґрунт, відрізають пласт і відкидають назад по ходу руху агрегату. Колінчастий вал копача розміщений перпендикулярно до напрямлення руху, декілька кривошипів розміщені з постійним кроком. Робочі органи обертаються з частотою 100 ... 172 хв<sup>-1</sup>. Поступальна швидкість агрегату не перевищує 2 ... 3 км/год. Занурення лопаток відбувається під постійним кутом рівним 5°, та супроводжується невеликим зміщенням лопатки по дузі (приблизно на 2 см) для запобігання зминання ґрунту тильною частиною лопатки. Після досягнення необхідної глибини лопатка рухається по пологій кривій, відриваючи і відкидаючи пласт ґрунту.

Переваги копачів з коливальним рухом робочих органів: розуцільнення ґрунту, завдяки чому коренева система сільськогосподарських культур має можливість розвиватися у найбільш родючих, верхніх прошарках ґрунту; добре працює на перезволожених ґрунтах, де інші машини працювати не здатні; регулювання товщини відрізаного пласту; можливість роботи з тракторами невеликої потужності; значне зниження витрати палива.

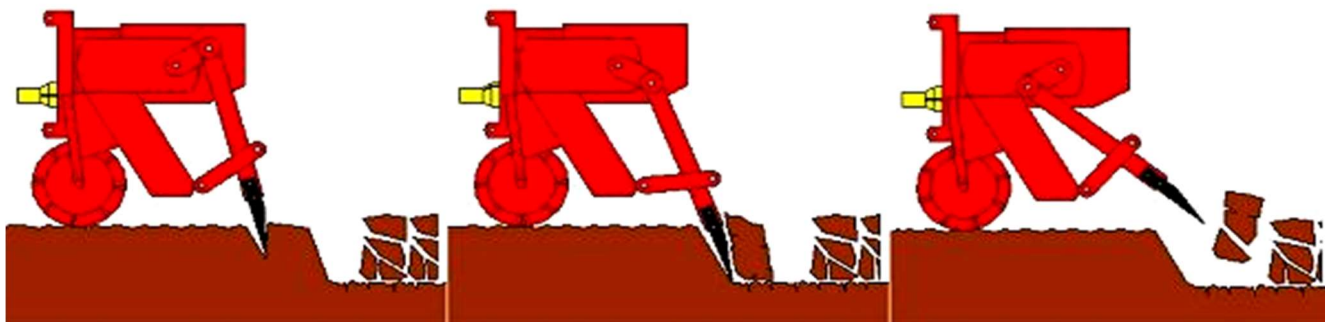


Рисунок 1.3 - Схема копача з коливальним рухом робочих органів  
(Falc, Gramegna, Celli, Selvatrici, Італія)

До недоліків цих копачів відносяться: неповний оберт пласту через незначне відхилення від вертикалі траєкторії ріжучої кромки лопати в момент відкидання відрізаного пласта.

У теперішній час спроектовані та випробувані різноманітні моделі копачів з кількістю робочих органів 12, 14 та 16, розміщеними в ряд при загальній робочій ширині до 4,5 м. Це дозволяє оптимально використовувати потужність трактора.

У копачі “Gramegna” робочі органи зроблені у вигляді увігнутих ножів-лопаток, шарнірно прикріплених до чотирьох ланкового механізму і приведених у рух за допомогою ВВП трактора через редуктор та кривошипно-шатуний механізм. [21].

Фірма FALC випускає копачі, призначені для глибокої обробки (22...50 см.) ґрунту та агрегатуються з тракторами потужністю 14,6...180 кВт. Моделі цих копачів: “Panda”, “Mini Toro”, “Toro”, “Leopard”, “Bufalo”, “Drago” [36].

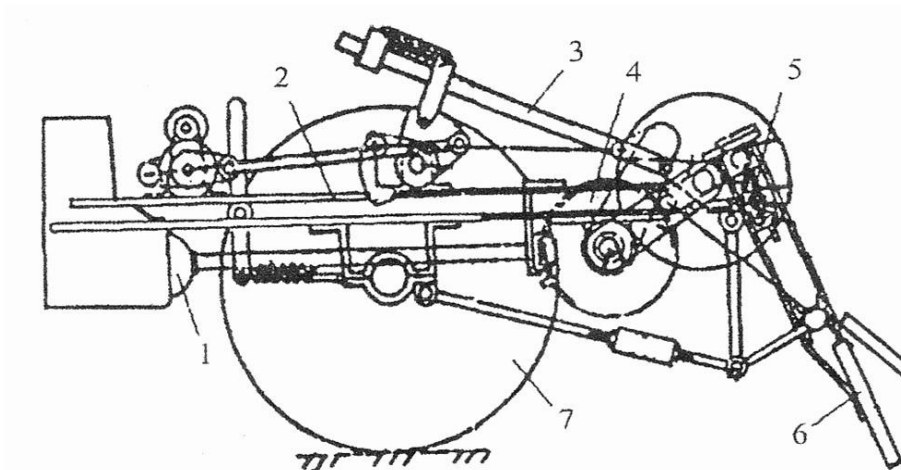
У копачів “FALC” колінчастий вал розташований перпендикулярно до напрямку руху, має шість кривошипів, розміщених з кроком  $S=215$  мм. Повна ширина захвату копача складає 1,29 м. Робочі органи машини обертаються з кутовою швидкістю  $\omega = 100...172$  хв<sup>-1</sup>. Поступальна швидкість машини складає 2...3 км/год. Занурення лопаток проходить під постійним кутом нахилу до вертикалі, рівний  $5^{\circ}$ . Занурення супроводжується невеликим зміщенням лопатки по дузі (приблизно 2 см) для запобігання зминання ґрунту тильною стороною лопатки, що збільшувало б тертя робочих органів з ґрунтом. Після занурення лопатки на необхідну глибину вона рухається по похилій кривій, відриваючи та відкидаючи пласт ґрунту.

Ці копачі фірма FALC рекомендує застосовувати в садах чи виноградниках. Недоліком даного копача являється те, що траєкторії ріжучої кромки лопатки незначно відхиляються від вертикалі в момент відкидання відрізаного пласту, що приводить до неповного обертання пласту.

У 1935 році в Англії Роберту Сімсу був виданий патент на ґрунтообробну машину. Машина складається з покладеної на колесах рами, на котрій на підшипниках встановлено поперечний вал з важелями, що вільно обертаються. Копальні робочі органи, що мають форми лопат, обертаються кожна на одній з шийок колінчастого вала. Обертальний рух від колінчастого валу регулюються радіальним стержнем. Для того щоб лопати утримувались в робочому положенні та у той ж час для запобігання поломки лопат при зустрічі з камінням або іншими твердими предметами передбачено запобіжний пристрій (рисунк 1.4) [16].

Раніше в ряді країн Західної Європи широко застосовували ротаційний копач “Rotaspa” фірми Vicon (Нідерланди). Робота цього копача подібна до копання ґрунту заступом: лопатоподібні ножі при обертанні відрізають великі пласти, перевертають

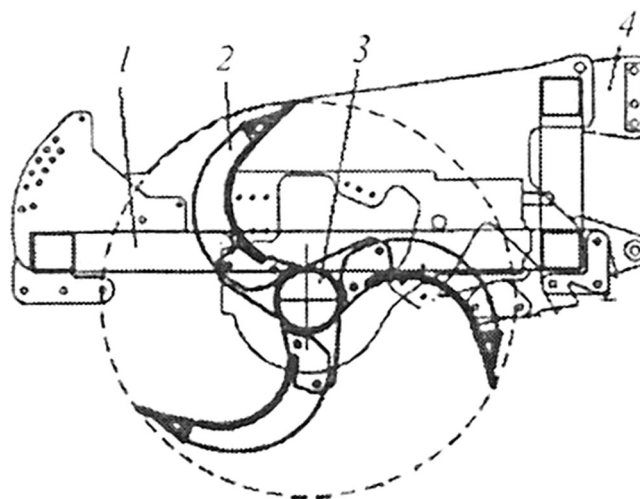
їх на кут рівний  $90^0$  та вкладають на дно борозни в перевернутому стані.



1 – привід; 2- рама; 3 – регулюючий стержень; 4 – колінчастий вал;  
5 – запобіжний пристрій; 6 – робочі органи; 7 – колесо

Рисунок 1.4. - Схема копача Сімса (Великобританія)

Фірма Imants (Нідерланди) (рисунок 1.5) випускає ґрунтообробні машини для обробки на глибину 25...90 см. Лопатоподібні робочі органи цієї машини здійснюють лише обертальний рух. На кожному фланцеві ротора закріплено по чотири робочих органи. Відрізані пласти скидаються чистиком, встановленим між двох робочих органів, по відношенню до котрих його положення регулюється.



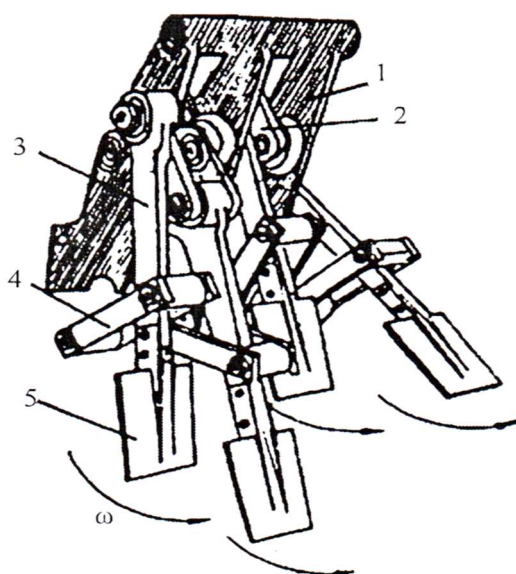
1 – рама; 2 – робочий орган; 3 – привід; 4 – система підвіски; 5 – карданний вал

Рисунок 1.5 - Схема копача ротаційного Imants (США)

При необхідності підготовки ґрунту під посів за один прохід лопаткова ротаційна машина може бути оснащена другим ротором оригінальної конструкції.

Його робочі органи виконані з вигнутих пружинних прутків, розташованих по дотичній до утворюючих циліндричного катка. Обертання другого ротора здійснюється від приводного вала машини [30].

В Хорватії з 1980 року проводяться дослідження та початий випуск ротаційної машини TL-8-LOPATOR на заводі Sloveniya cesta tehnika по ліцензії італійської фірми Vangatrici [21] (рисунок 1.6).



1 – рама; 2 – кривошип; 3- шатун; 4 - ведена ланка; 5-ніж

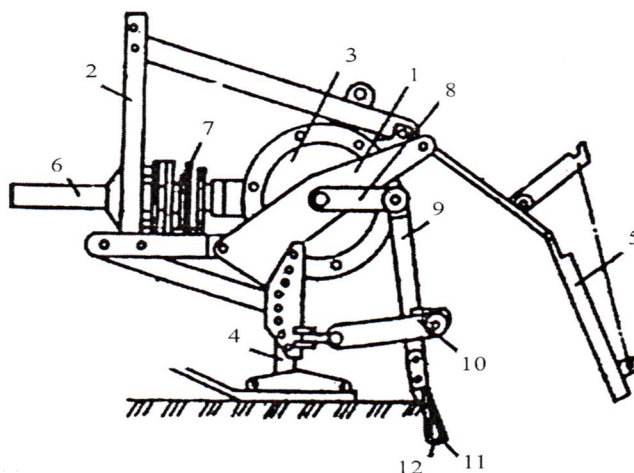
Рисунок 1.6 – Схема копача TL-8 (Хорватія)

Принцип роботи подібний до “FALC”. Ширина обробки становить 1800 мм. Ширина захвату лопати копача 170 мм. Глибина обробки до 30 см. Агрегатується з тракторами класу 0,6...0,9 кН [21].

Вчені НДІ овочівництва Молдови пропонують використовувати в теплицях кроковий копач, що має хитаючі робочі органи. По принципу роботи не відрізняється від попередньо розглянутих. Вона також має лапу, спереду якої змонтовано навісний пристрій, конічний редуктор, пристрій для регулювання глибини, кривошипно-шатунний механізм [21] (рисунок 1.7).

Для покращення кришення ґрунту та запобігання пошкодження елементів

обігріву теплиць рекомендується встановити перпендикулярно до площини лопат ріжучий елемент, виконаний у вигляді пластин.



1, 2 – рама; 3 – редуктор; 4 – опорна лижа; 5 – щиток; 6 – колінчастий вал;  
7 – муфта; 8, 10 – кривошип; 9 - шатун; 11, 12 - ніж

Рисунок 1.7 – Схема копача КШ-1,4 (Молдова)

Однак, даний копач має також і суттєві недоліки: на одному колінчастому валу кріпляться робочі органи, що знижує їх ремонтпридатність, підвищує металоємність конструкції.

В нашій країні були розроблені такі ґрунтообробні машини, як ЛТ-1,4, КР-1,5 та МПТ-1,2. Найбільше розповсюдження отримала машина МПТ-1,2 призначена для фрезерування та оранки (рисунок 1.8) [21, 30, 28].

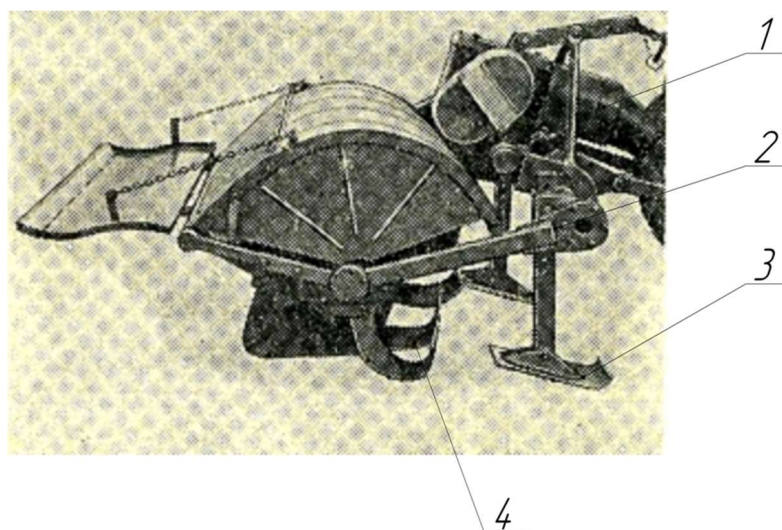
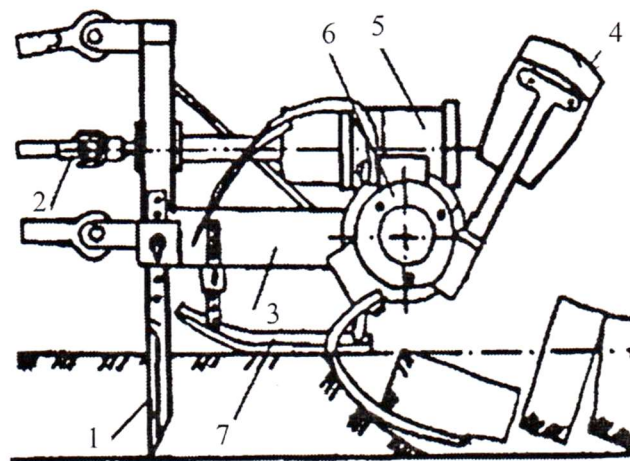


Рисунок 1.8 – Машина МПТ 1,2



Машина КР - 1,5 для перекопування ґрунту, оснащена оборотними робочими органами, була розроблена та випускалась невеликими партіями в СРСР. Оберт робочих органів (лопат) приводиться рейково-копіюючим пристроєм: при обертанні ротора ролик ковзає по направляючих копіру і зміщуючись в бік, повертає лопату при виході її з ґрунту на кут  $90^0$ , а потім, до моменту входження лопати в ґрунт, встановлює її у вихідне положення [21, 30, 28] (рисунок 1.9)



1 – ніж; 2 – карданний вал; 3 – рама; 4 – лопата; 5 – редуктор; 6 – ротор;  
7 - лижа

Рисунок 1.9 – Схема копача КР – 1,5 (СРСР)

Більш досконалою машиною, що випускалась серійно є МПТ-1,2. Вона складається з рами, карданного валу (1), редуктора з коробкою змінних шестерень, бокового привода (2), вала барабану з Г-подібними ножами (4), двох опорних лиж (3), кожуха та карданного валу з запобіжною муфтою. При повільному обертанні барабану ( $0,71 \text{ c}^{-1}$ ) виконується копання ґрунту, при швидкому ( $2,71 \text{ c}^{-1}$ ) – фрезерування [18].

Технічні характеристики найбільш розповсюджених ротаційних копачів наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики ротаційних копачів [18]

Фірма	Модель	Робоча ширина, м	Глибина, м	Потужність, кВт	Число робочих органів, шт	Частота обертання ВВП, хв <sup>-1</sup>	Швидкість, м/с	Маса, кг
Celli	NX/4	0,8	0,25	34	4	540	-	240
Celli	NG/12	3,5	0,40	255	12	1000	-	2251
Falc	4200	4,1	0,35	245	16	540/1000	-	2610
Falc	3100	3,1	0,50	325	10	1000	-	2640
Gramegna	V86/36	4,0	0,36	218	16	1000	0,56	2315
Gramegna	V97/45	2,7	0,45	218	10	1000	0,64	2900
Imants	45 S	2,9	0,50	160	-	540/750/100	1,47	2300
Imants	45 S	4,0	0,50	245	-	540/750/100	1,47	3000
Selvatici	2514	3,5	0,70	340	28	540/1000	0,44	2610
Selvatici	4016	4,0	0,70	340	32	540/1000	0,44	2910
Rotaspa	M-175	1,75	до 25	26	-	-	0,42	600
МІТ	1,2	1,2	0,10- 0,30	24	12	540	0,28 - 0,47	530

Після проведеного огляду існуючих конструктивних схем копачів та аналізу науково-технічної літератури з основної обробки ґрунту машинами з активними робочими органами можна зробити наступні висновки:

1) найбільш перспективними для основної обробки ґрунту являється копач як по енергетичним, так і по агротехнічним показникам;

2) копачі з активним приводом мають три схеми компоновки: з робочими органами, обертаючими пласт; з робочими органами, обробляючими ґрунт без обертання пласта, але розміщеними на одному колінчастому валу; с робочими органами без обертання пласту з розташованими попарно робочими органами;

3) ротаційні копачі з обертальним рухом робочих органів найбільш ефективні у порівнянні з копачами, маючими коливальний рух робочих органів.

## 1.4 Мета і задачі роботи

**Метою роботи** є дослідження механізованого обробітку ґрунту способом копання. Вдосконалення процесу механічного обробітку ґрунту шляхом розробки нового робочого органу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **задачі**:

- обґрунтувати актуальність механічного обробітку методом копання у сучасних умовах;
- проаналізувати останні досягнення у використанні ротаційних ґрунтообробних машин;
- теоретично дослідити вплив параметрів та конструкції знаряддя для обробітку ґрунту способом копання на режими його роботи;
- провести екологічну оцінку та техніко-економічні розрахунки обробітку ґрунту способом копання

**Об'єкт досліджень** - процес взаємодії копальних робочих органів з ґрунтом, що змінюють його фізичні властивості та покращують екологічну безпеку..

**Предмет досліджень** - закономірність впливу конструктивних і технологічних режимів роботи робочих органів копального типу.

## 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГЛИБОКОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ СПОСОБОМ КОПАННЯ (КОПАЧАМИ)

### 2.1 Програма і методика досліджень

Теоретичні дослідження процесу взаємодії копального робочого органу з ґрунтом полягають в встановленні закономірностей впливу режимів роботи знаряддя для обробітку ґрунту (частоти обертання ротора, кроку копання, глибини копання та радіуса ротора) на крутний момент, необхідний для подолання опору ґрунту.

**Об'єкт досліджень:** процес взаємодії копальних робочих органів з ґрунтом, що змінюють його фізичні властивості та покращують екологічну безпеку.

**Предмет дослідження:** закономірність впливу конструктивних і технологічних режимів роботи робочих органів копального типу.

#### Методика дослідження

Крутний момент на ведучому валу для однієї лопати розраховується за формулою (Н·м) [9]:

$$M_{кр} = RSz(q_a h B_k \beta_k + k_{від} h B_k \beta_k \rho \frac{v_{кол}^2}{R}), \quad (2.1)$$

де  $R$  – радіус ротора, м;

$S$  – крок копання, м;

$z$  – кількість лопат;

$q_a$  – коефіцієнт об'ємного зминання,  $\frac{H}{m^3}$  ;

$h$  - глибина обробки, м;

$B_k$  – конструктивна ширина захвату;

$\beta_k$  – коефіцієнт використання ширини захвату;

$k_{від}$  – коефіцієнт відкидання,  $\frac{H \cdot cm^2}{m^4}$  ;

$q$  – щільність ґрунту,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$v_{\text{кол}}$  - колова швидкість кінчика лопати,  $\frac{\text{м}}{\text{с}}$

Колова швидкість на кінці лопати дорівнює:

$$v_{\text{кол}} = \omega R, \quad (2.2)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість на крайній точці лопати,  $\text{с}^{-1}$ ;

Кутову швидкість знаходять за формулою:

$$\omega = \frac{\pi n}{30}, \quad (2.3)$$

звідси:

$$v_{\text{кол}} = \frac{\pi n R}{30}, \quad (2.4)$$

де  $n$  – частота обертання ротора за хвилину,  $\text{хв}^{-1}$ ,

Звідси:

$$M_{\text{кр}} = RSz \left( q_a h B_k \beta_k + k_{\text{від}} h B_k \beta_k \rho \frac{\pi^2 n^2 R}{900} \right), \quad (2.5)$$

Як можна побачити з формули (5) на крутний момент впливає багато параметрів. Залишивши сталими значення щільності ґрунту, ширину захвату (як конструктивну так і коефіцієнт використання ширини захвату) та коефіцієнт відкидання та змінюючи інші значення розглянемо характер змінення крутного моменту.

Згідно визначеної мети змінними параметрами виступають: радіус ротора, крок копання, глибина обробки ґрунту та частота обертання.

Порівняльною характеристикою виступає крутний момент.

### **Обробка отриманих даних**

Характер впливу конструктивної ширини захвату лопати та кількості лопат на потужність, необхідну для подолання опору ґрунту розраховують на ЕОМ за допомогою програми Microsoft Excel 2007.

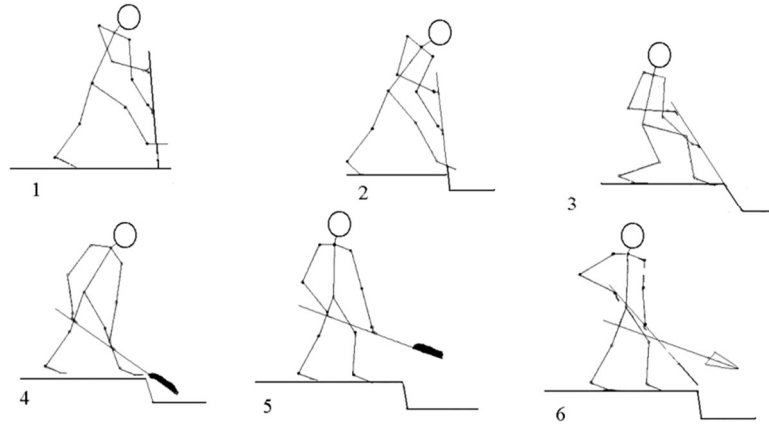
На основі порівняння отриманих характеристик оцінюють вплив конструктивних параметрів та режимів роботи на крутний момент, необхідний для подолання зусилля опору ґрунту.

Отримані дані допоможуть з'ясувати які параметри конструкції чи режиму роботи доцільно збільшувати або навпаки зменшувати для збільшення продуктивності агрегату без суттєвого збільшення крутного моменту.

## **2.2 Дослідження впливу параметрів та конструкції сільсько-господарського знаряддя для обробітку ґрунту способом копання**

З метою обґрунтування параметрів та конструкції ротаційного механізованого ґрунтообробного агрегату порівняємо роботу такого агрегату з аналогічним процесом, виконаним вручну. Відомо, що механічний обробіток ґрунту за допомогою МТА має більшу енергоємність, ніж виконання тієї ж роботи вручну [21]. Тому зменшити енерговитрати можна використовуючи особливості ручного копання та застосування цих особливостей у механічних пристроях. У роботі [6] представлено особливості та переваги ручного копання. Процес представлено у вигляді 6 окремих фаз (рисунок 2.1) [24].

У першій фазі лопата встановлюється у вихідне положення і орієнтується у просторі, на що енергія майже не витрачається.



1 – встановлення лопати у вихідне положення; 2 – занурення лопати у ґрунт; 4 – відокремлення (відрив) скиби; 5 – підйом скиби; 6 – укладання скиби

Рисунок 2.1 – Фази робочого процесу ручного копання

У другій фазі виконується підрізання - занурення лопати у ґрунт під дією ваги копача по траєкторії, обумовленій формою поверхні лопати. Якщо на шляху леза зустрічаються неоднорідності ґрунту чи перепони (наприклад ущільнення) лопата може змінити напрямок руху у ґрунті, занурюючись по шляху найменшого опору. Щоб зменшити енерговитрати у цій фазі потрібно встановити на машину вібропристрій, що забезпечить найменш енерговитратне занурення [24].

Після занурення лопати у ґрунт починається третя фаза - відрив підрізаної скиби від рештки ґрунту. При цьому по контуру підрізаної скиби відбувається руйнування ґрунту за рахунок напружень та деформацій розриву та зсуву. Як відомо, межа міцності ґрунту на розрив та зсув менша, ніж на стискання, яке має місце при роботі клина. Після відриву скиби копач продовжує повертати важіль-черешок лопати, встановлюючи її в положення, достатнє для утримання відокремленої скиби на поверхні лопати силами тертя спокою (фаза 4).

Переміщення відокремленої скиби (фаза 5) відбувається поворотом черешка лопати з одночасним підйомом опори-руки. Тобто центр повороту зміщується а всі рухи відбуваються за рахунок зміни положення елементів остову людини-копача без втрат на тертя матеріалу об поверхню робочого органу. Забезпечуючи обертання

лопати навколо своєї вісі можна зменшити витрати енергії на тертя між робочим органом та ґрунтом.

Роздивимось обробку ґрунту з точки зору дотримання агрономом щодо необхідної щільності ґрунту. Відомо, що цей показник має великий вплив на врожайність. Щільність впливає не тільки на розвиток кореневої системи рослин, але й на водний, повітряний та поживний режими. Досліди показують, що для різних вплив рослин та різноманітних ґрунтів існує певна необхідна щільність. При щільності ґрунту більше оптимальної врожай знижується, а при дуже високому ущільненні врожай зовсім відсутній [32]. Тому щільність вважається важливим фактором для досягнення великої врожайності.

Для досягнення необхідної щільності та для подрібнення користуються в основному механічним способом, тобто матеріал руйнується під дією робочого органу.

Існує декілька різновидів механічного способу подрібнення ґрунту: різання, сепарація, роздавлювання, гравітаційне падіння, розколювання, розтирання, зламування, удар. Кожен з цих видів подрібнення в певній мірі впливає на ґрунт і зменшує її щільність.

Найбільш розповсюджений спосіб руйнування ґрунту різанням: ріжучий орган у вигляді клина знімає стружку за рахунок деформації сколювання по певним траєкторіям, що залежать від параметрів ріжучого органу, фізико-механічних властивостей ґрунту. Даний спосіб закладено у роботі традиційного лемішного плуга, де різання відбувається в горизонтальній площині, та деяких інших знаряддях.

Для руйнування грудок ґрунту використовується спосіб сепарації. Спосіб заснований на проходженні грудок ґрунту через сепаруючі поверхні робочого органу, де розмір частинки кінцевого структурного агрегату буде визначатись параметром кроку між сусідніми сепаруючими елементами .

При стисканні шматочки ґрунту роздавлюються між двома площинами. Якщо робоче напруження перевищує внутрішнє напруження грудок ґрунту, то відбувається руйнування на більш дрібні фракції.

Руйнування грудок або стружки ґрунту при гравітаційному падінні



відбувається за рахунок удару при падінні с деякої висоти. Цей спосіб застосовується в конструкціях об'ємних глибокорозпушувачів.

При розколюванні руйнування ґрунту здійснюється стисканням її між розташованими один проти одного гострими гранями робочих поверхонь.

Руйнування розтиранням протікає за рахунок тертя ґрунту по поверхні робочого органу.

При зламуванні грудочки ґрунту зазнають стискання між розташованими в шаховому порядку гострими гранями поверхонь робочих органів.

Руйнування грудок ґрунту ударом відбувається при зіткненні їх з органом, що дробить.

Ступінь подрібнення виступає основним показником, що враховує якість розпущення ґрунту. Для загальноновживаного плуга типу ПНЛ ступінь подрібнення становить 2,6...2,8 одиниць, при необхідній ступені подрібнення - 46 одиниць [32]. Тому на практиці застосовується декілька типів знарядь, виконуючих послідовно технологічні операції з обробки ґрунту. Одним з перспективних напрямлень являється створення таких конструкцій знарядь, в яких одночасно поєднуються декілька способів руйнування ґрунту і які дозволяють забезпечити необхідну якість обробки. Для цього випадку ступінь подрібнення ґрунту становитиме:

$$i = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \dots i_j \quad (2.6)$$

де  $i_1, i_2, i_3, i_j$  - відповідно перший, другий, третій ...  $j$  способи подрібнення ґрунту

При обробці ґрунту ротаційним робочим органом буде використано відразу декілька видів подрібнення: невелике, але різання у вертикальній площині, гравітаційне падіння та розколювання. Враховуючи приведені у [13] данні щодо ступені подрібнення різними способами можна підрахувати загальну ступінь подрібнення:

$$i_{\text{різ}} = 5,0$$

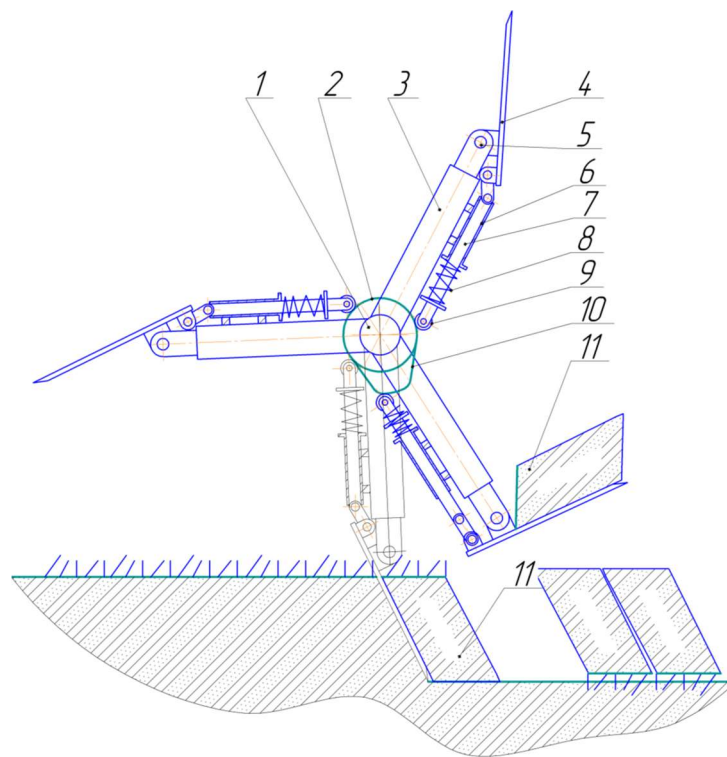
$$i_{\text{падіння}} = 3,0$$

$$i_{\text{розк.}} = 3,0$$

$$i = 5,0 \cdot 3,0 \cdot 3,0 = 45$$

Тобто ротаційний копач, при своїй роботі може досягти необхідної якості обробітку ґрунту, задовольняючи вимогам, висунутим до ґрунтообробного знаряддя.

Роздивимось рух, який здійснює робочий орган пропонованого копального агрегату (назвемо його «Копач ТДАТУ») [44]. Загальний вигляд та принцип роботи ґрунтообробного органу представлена на рисунку 2.2.



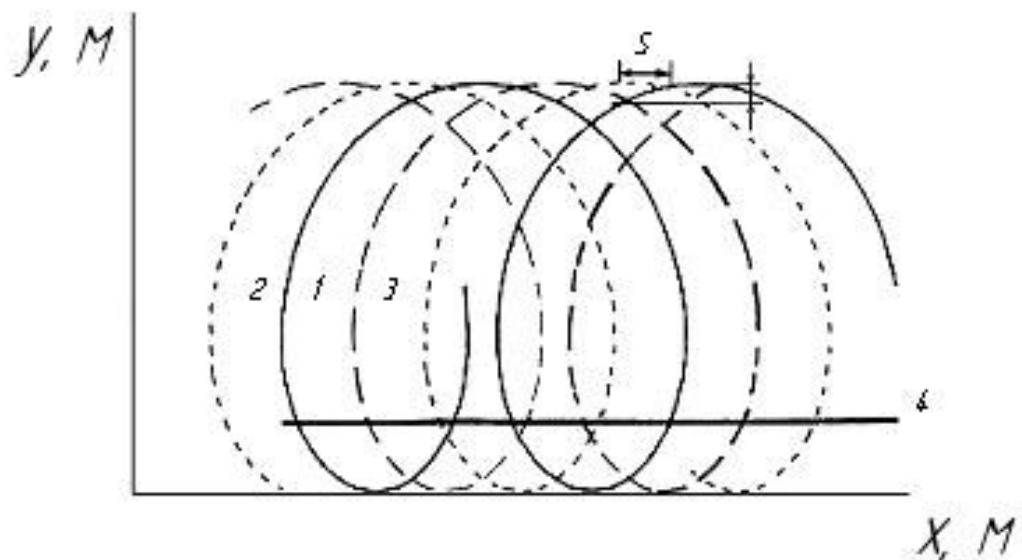
1 – ведучий вал; 2 – маточина; 3 – стійка; 4 – лопатка (робочий орган); 5 - палець;  
6 – корпус; 7 – штовхач; 8 – пружина; 9 – ролик; 10 – ексцентрик; 11 - скиба ґрунту

Рисунок 2.2 – Технологічна схема та принцип роботи копального робочого органу

Працює він наступним чином: від джерела енергії (не вказане) крутний момент передається на ведучий вал, на якому встановлена маточина, з стійками, на яких закріплені шарнірно лопатки (різальні робочі органи). При обертанні маточини лопатка здійснює заглиблення в ґрунт і відрізає скибу та переміщує її ввєрх, а

штовхач, розташований у корпусі, через ролик копіює поверхню ексцентрика і при досягненні його вершини здійснюється переверот та зсув відрізаної скиби ґрунту. Далі під дією пружини штовхач повертає лопатку робочого органу у вихідне положення [44].

У відповідності до технологічної схеми в роботі копальних робочих органів мають місце такі характерні фази: відрізання скиби, піднімання її та укладання в борозну. Траєкторія руху робочого органу при зануренні в ґрунт і підніманні пласту відповідає рівнянню трохойди (рисунок 2.3). При відкиданні лопат створюється додатковий рух, закон якого залежить від механізму відкидання.



- 1 – траєкторія руху першого по ходу робочого органу; 2 – траєкторія другого по ходу робочого органу; 3 – траєкторія руху третього по ходу робочого органу;  
4 – глибина обробки

Рисунок 2.3 – Схема траєкторії руху робочих органів ротаційного копача

Встановлено, що процес відкидання ґрунту починається вже при швидкості обертання ротора  $50 \text{ хв}^{-1}$ . Це дозволило обґрунтувати максимальну швидкість обертання ротора, при якій виконується задана умова [13].

Кут нахилу робочого органу, що забезпечує переміщення пласту залежить від моменту відкидання. Встановлено, що необхідна висота підйому пласта до моменту

відкидання залежить від швидкості обертання ротора, глибини обробки та кількості робочих органів в одній секції і знаходиться в межах 0,1...0,45 м [13].

В результаті аналізу виконаних раніше досліджень знарядь з ротаційними робочими органами (Василенко П. М., Далін А. Д., Докін Б. Д., та інші) встановлено, що одним з основних показників режиму роботи являється відношення між коловою та поступальною швидкостями [10, 13, 15].

Аналіз отриманих ними виразів показує, що величина цього відношення залежить від радіуса ротора, кількості робочих органів в одній секції і глибини обробки. Для копальних робочих органів відношення колової швидкості ротора до поступальної, що забезпечувала б необхідну рівномірність глибини обробки, змінюється в межах від 2,4 до 5,7. При цьому величина радіуса ротора залежить від заданої глибини обробки, а кількість робочих органів обмежено можливістю встановлення їх на роторі.

Порівняємо рекомендоване відношення між швидкостями з пропонованими параметрами копального агрегату.

Колову швидкість знаходять з формули:

$$v_{\text{кол}} = \omega R, \quad (2.7)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість на крайній точці лопати,  $\text{с}^{-1}$ ;

$$R = 0,5 \text{ м.}$$

Кутову швидкість знаходять за формулою:

$$\omega = \frac{\pi n}{30}, \quad (2.8)$$

$$n = 45 \text{ хв}^{-1}$$

звідси:

$$v_{кол} = \frac{\pi n R}{30} \quad (2.9)$$

$$v_{кол} = \frac{3.14 \cdot 45 \cdot 0.5}{30} = 2,36 \frac{м}{с}$$

Поступальна швидкість агрегату розраховується за формулою:

$$v_{пост} = Szn, \quad (2.10)$$

де  $S$  – крок копання, м;

$z$  – кількість лопат, встановлених на одній лінії;

$$n = \frac{45}{60} = 0,75 c^{-1}$$

$$v_{пост} = 0.2 \cdot 3 \cdot 0,75 = 0,45 \frac{м}{с}$$

$$\frac{v_{кол}}{v_{пост}} = \frac{2,36}{0,45} = 5,23, \text{ умова виконується.}$$

Тобто можливий рівномірний обробіток ґрунту.

Робочий орган копальних машин складається з лопаткової площини і стійки, за допомогою якої він приєднується до поперечної вісі, вставленої у втулку та взаємодіючої з механізмом відкидання. Дослідженнями встановлено, що стійка на ділянці суміжності її з лопатою повинна мати криволінійний (трохоїдальний) профіль змінного перетину. Місце кріплення його до лопати повинно знаходитись на відстані 75...85 мм від ріжучої кромки.

В результаті аналізу роботи копального органу встановлено, що основна частина енергії витрачається на відрізання пласту і придання йому кінетичної енергії, обумовленою швидкістю руху пласта та його розмірами. Сума цих складових

обумовлює значення потужності, затраченої на копання. Їх значення залежить від глибини обробки, величини подачі, кутової швидкості ротора і фізико-механічних властивостей ґрунту.

В результаті дослідження залежності величини куту нахилу лопат, що забезпечують рух пласту по поверхні робочого органу, від положення їх на траєкторії руху встановлено, що найменше значення ( $5-7^{\circ}$ ) кут нахилу має після повороту лопати від початкового положення на  $180^{\circ}$ , що відповідає максимальному їхньому заглибленню. При підйомі пласту від дна борозни на декотру висоту необхідний кут нахилу лопат збільшується, досягаючи значення  $28-30^{\circ}$  при перекиданні пласту на висоті  $0,20-0,25$  м.

Для забезпечення відокремлення пласту від робочого органу кут перекидання лопат при проектуванні слід приймати не менше  $35-40^{\circ}$ . А для забезпечення повного перевертання орного шару - близько до  $180^{\circ}$ .

Аналіз впливу моменту початку перекидання пласту на величину зміщення його в бік, яке обумовлюється шириною відкритої борозни, показує, що найменше зміщення має місце при перекиданні його на відстані від дна борозни близьким до глибини обробки ( $0,20-0,25$  м), що відповідає куту повороту ротора від початкового положення рівним  $225-240^{\circ}$ .

Для знаходження параметру копального пристрою, який найбільше впливає на силу, що діє на лопату порівняємо значення крутного моменту, що виникає в процесі копання. Крутний момент на ведучому валу для однієї лопати розраховується за формулою (5):

$$M_{кр} = RSz(q_a h B_k \beta_k + k_{від} h B_k \beta_k \rho \frac{v_{кол}^2}{R}), \quad (2.11)$$

Для порівняння залежностей крутного моменту від змінних приймаємо такі статичні значення:

$$R = 0,5 \text{ м.};$$

$$S = 0,2 \text{ м.};$$

$$z = 1;$$

$$q_a = 0,6 \cdot 10^6, \frac{H}{m^3};$$

$$h = 0,25 \text{ м};$$

$$b = 0,33 \text{ м};$$

$$k_{\text{від}} = 0,85 \frac{H \cdot \text{см}^2}{m^4};$$

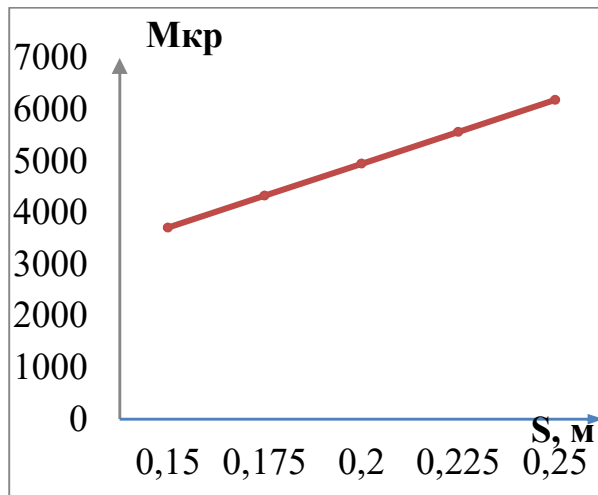
$$q = 0,16, \frac{\text{кг}}{m^3}$$

$$n = 45 \text{ хв}^{-1}$$

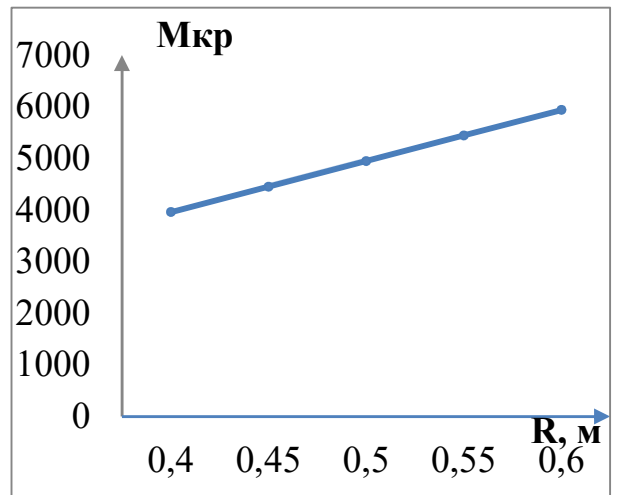
Змінюватимемо значення радіусу ротора від 0,4 - 0,6 м з кроком 0,05 м, крок копання від 0,15 – 0,25 м з кроком 0,025 м, глибину обробки від 0,2-0,3 м з кроком 0,025 м та частоту обертання від 40 – до 60  $\text{хв}^{-1}$  з кроком 5  $\text{хв}^{-1}$

Як можна помітити з графіків на рисунку 2.4 частота обертання майже не впливає на крутний момент при копанні ротаційним копачем (рисунок 2.4, в), а інші параметри змінюють крутний момент лінійно, майже з однаковою швидкістю (рисунок 2.4, а,б,г).

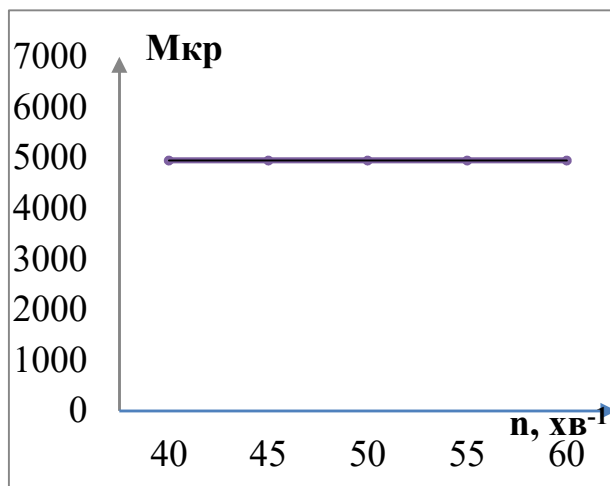
На рисунку 2.4, г ми бачимо, що зі збільшення глибини обробки значення крутного моменту збільшується лінійно, але спостерігаючи за процесом копання можна помітити, що значення крутного моменту зі збільшенням глибини обробки спочатку збільшуватиметься, а потім при глибині 25-30 см зменшуватиметься, досягаючи значень близьких до частоти коливань при обертанні ротора на холостому ході. Це явище пояснюється збільшенням часу взаємодії робочих органів з ґрунтом, при якому ґрунт починає виконувати роль демпфера [9].



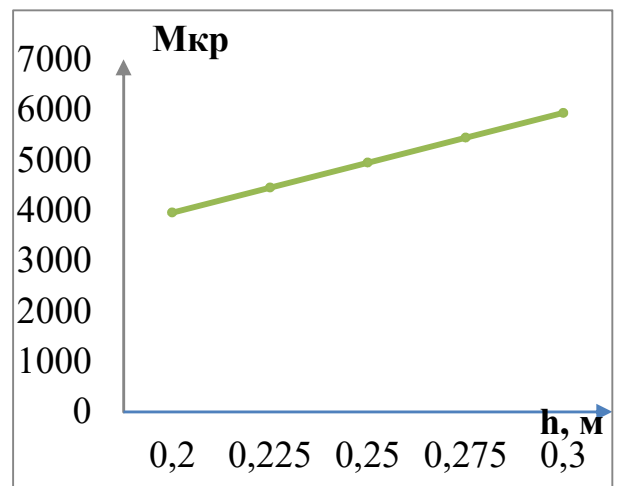
а)



б)



в)



г)

а) кроку копання; б) – радіусу ротора; в) – частоти обертання;  
г) – глибини обробки

Рисунок 2.4 – Графік зміни крутного моменту залежно від

Потужність, що витрачається на копання, зі збільшенням глибини обробки збільшується, а питома потужність, що витрачається на одиницю об'єму зменшується та при глибині обробки 25-30 см майже не змінює свого значення. Аналіз дослідження процесу дозволяє обґрунтувати оптимальну глибину обробки 25-30 см.

При дослідженні впливу величини та швидкості подачі на зміну потужності, затраченої на копання встановлено, що зі збільшенням подачі крутний момент та потужність зростатимуть. При чому при збільшення швидкості подачі в 4,7 рази призводить до збільшення затраченої потужності у 4,2 рази.



Аналіз зміни питомої потужності показує, що при швидкості подачі більше  $0,4 \frac{M}{c}$  вона практично не зменшується. Це дозволяє обґрунтувати оптимальну швидкість подачі рівною  $0,3 - 0,4 \frac{M}{c}$ , котра забезпечується при подачі на один робочий орган  $0,15 - 0,20$  м.

Дослідження процесу роботи копача свідчать, що в процесі роботи має місце значна нерівномірність навантаження. Причиною цьому являється конструктивна та технологічна схеми копальних машин. Для зменшення піків навантаження необхідно при проектуванні копальних машин їхні секції встановлювати так, щоб в процесі роботи вони забезпечували перекриття фаз навантаження. Користуючись методами фізичного моделювання встановлюється, що робота лопат з перекриттям забезпечується при встановленні їх під кутом  $35 - 50^0$ , при цьому мінімальна кількість лопат на одній копальній машині дорівнює 9. При більшій кількості лопат на одній машині збільшується коефіцієнт одночасної роботи лопат. Збільшення цього коефіцієнту призводить до зменшення значення основної частоти коливань.

## 3 РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ КОПАЧІВ ТА ЇХ АНАЛІЗ

### 3.1 Технічні результати роботи копача

Для порівняння пропонованого нами копача з вже існуючими моделями та традиційним плугом, розрахуємо потужність, що затрачується на копання, а також питому потужність, та швидкість обробки.

Потужність  $N$  (кВт), що затрачується на копання ґрунту знаходять за формулою:

$$N = \frac{\pi n}{30} R h B_k \beta_k K, \quad (3.1)$$

де  $n$  – частота обертання ротора за хвилину,  $\text{хв}^{-1}$

$R$  – радіус ротора, м;

$h$  – глибина обробки, м;

$B_k$  – конструктивна ширина захвату;

$\beta_k$  – коефіцієнт використання ширини захвату;

$K$  – питомий опір ґрунту копанню,  $\frac{\text{кН}}{\text{м}^2}$ ,

$$n = 45 \text{ хв}^{-1}$$

$$R = 0,5 \text{ м.};$$

$$h = 0,25 \text{ м};$$

$$B_k = 0,33 \text{ м}$$

$$\beta_k = 1,1$$

$$K = 9 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}$$

$$N = 5,25 \text{ кВт}$$

Потужність та інші технічні показники наведено в таблиці 3.1. З неї видно, що потужність, затрачена на 1 м ширини захвату менша ніж у плуга у 4,4 рази при такій

ж глибині обробки. А питома енергоємність менша у 2,2 рази, що вказує на меншу необхідну кількість палива. Як бачимо пропонований робочий орган показує свою конкурентоспроможність з плугом та іншими копачами як по агротехнічним так і по техніко-економічним параметрам.

Таблиця 3.1 - Результати порівняння технічних характеристик копачів з плугом

Показник	Копачі				Плуг
	Rotaspa	Gramegna	FALC	Копач ТДАТУ	
Ширина захвату, м	1,05	1,19	1,55	0,99	0,41
Глибина обробки, см	21,5	21,4	17,2	25	25
Швидкість, км/год	1,2	1,36	2,12	1,62	5,03
Продуктивність, га/год	0,11	0,14	0,27	0,16	0,14
м <sup>3</sup> /год	236	300	464	401	350
Витрата палива, кг/год	1,91	2,79	3,86	–	2,9
Питома витрата палива, г/м <sup>3</sup>	8,093	9,312	8,319	–	8,286
Середня споживана потужність, кВт	5,91	9,56	12,19	5,25	10,02
Потужність, затрачена на 1 м ширини захвату	5,6	8,03	7,85	5,54	24,44
Питома енергоємність, кВт·год/га	53,73	68,29	45,15	32,73	71,43

### 3.2 Екологічні наслідки роботи копача

Загальновідомо, що вміст достатньої вологи в ґрунті є необхідною умовою для нормального розвитку рослин і має великий вплив на надходження в них елементів живлення. Вплив вологості ґрунту на надходження в рослину елементів живлення визначається в основному наступними факторами: 1) поліпшенням загального фізіологічного стану рослин, так як нормальне забезпечення тканин сприяє

фотосинтезу, біосинтезу білків і деяким іншим процесам обміну речовин, які багато в чому визначають поглинання рослинами елементів живлення; 2) поліпшенням розвитку і розташування коренів при нормальному вмісті вологи в ґрунті; 3) універсальністю води як середовища дифузії іонів з ґрунтового розчину і ґрунтового поглинаючого комплексу до корневих волосків рослин.

За численними даними, при оптимальній вологості ґрунту в рослини надходить багато макро- і мікроелементів. За дефіциту вологи порушується узгодженість у роботі ферментних систем, посилюються процеси гідролізу та розпаду органічних речовин, різко знижується інтенсивність фотосинтезу, припиняється ріст рослин. На запас води в ґрунті значну дію надає застосовувана агротехніка та спосіб обробки ґрунту. При достатній вологозабезпеченості ґрунту підвищується віддача від внесення добрив [4].

Ще одним важливим показником ефективності обробітку ґрунту являється вміст гумусу в ґрунті. Вміст гумусу - показник рівня родючості. Особлива роль гумусу пояснюється його багатостороннім впливом на всі агрономічно важливі властивості ґрунту. Практично всі властивості ґрунту знаходяться в прямій залежності від вмісту органічної речовини, 90% якого припадає на частку гумусу [42].

Гумусові речовини, що утворюються в ґрунті, беруть активну участь у процесах ґрунтоутворення. Гумус грає головну роль у формуванні профілю ґрунту. У сприятливих для росту рослин умовах формується добре виражений темний гумусовий горизонт. Гумус склеює ґрунтові частинки в агрегати (грудочки), сприяючи створенню агрономічно цінної структури і сприятливих для життя рослин фізичних властивостей ґрунту. У гумусі містяться основні елементи живлення рослин (N, P, K, S, Ca, Mg) і різні мікроелементи. Ці елементи в процесі поступової мінералізації гумусових речовин стають доступними для рослин.

Ґрунти, багаті гумусом, характеризуються більшою поглинальною здатністю, кращими водними і фізичними властивостями [31].

Обробіток ґрунту змінює фізичні властивості, які впливають на динаміку гумусу. Будь-яке розпушування ґрунту призводить до посилення мікробіологічних процесів, і, як наслідок, до розкладу органічної речовини. Крім того, із збільшенням

надходження кисню у ґрунті відбуваються процеси окислення, що зменшує вміст гумусу. Це особливо швидко відбувається у просапних сівозмінах з характерним для них глибоким основним та інтенсивним міжрядним обробітком і великим виносом азоту просапними культурами. Відповідно до цього і до даних досліджень при поверхневому обробітку створюється більша пористість, тому гумус розкладається інтенсивніше, ніж при глибокому обробітку. Поступове поглиблення обробітку закономірно зменшує розкладання гумусу і підвищує нагромадження кореневої маси, а з нею і збільшення вмісту гумусу[17]. Як показують дослідження якісний обробіток ґрунту знаряддями копального типу позитивно впливають на вміст вуглецю в ґрунті, а відповідно і гумусу. Це пояснюється тим, що після традиційного плуга виникає необхідність додаткового обробітку ґрунту у вигляді культивуації та боронування. В порівнянні з ним застосування копача виключає таку необхідність і потребує лише весняного боронування. Таким чином гумус менше окислюється і його більше залишається в гумусі.

Оскільки не має достатньо зручних методів безпосереднього виявлення вмісту гумусу в ґрунті, вміст його знаходять непрямим способом. Для цього визначають вміст елементів, що є невід'ємною частиною показника родючості ґрунту (найчастіше вміст вуглецю С). При цьому вважається, що в ґрунтовому гумусі знаходиться 58 % вуглецю. Тому знаючи вміст вуглецю в ґрунті можна визначити родючість ґрунту [11].

Обробіток впливає на ґрунтову фауну. Малочутливі на обробіток ґрунту кліщі; погано переносять його ногохвостки. Доведено, що при весняному обробітку через пошкодження значно зменшується кількість дощових черв'яків. Дощові черви впливають на ґрунт трьома способами. По-перше, вони прокладають в землі ходи, що можуть сягати восьмиметрової глибини, враховуючи кількість червів часом на 1 м<sup>2</sup> землі припадає до кількох кілометрів подібних ходів які полегшують проникнення повітря та води до кореневої системи рослин. Черв'яки відмінно розпушують ґрунт, що в 5-10 разів нарощує площу зіткнення її з повітрям, сприяє проникненню кисню і води в глибокі шари. Ходи черв'яків зміцнюються водостійким матеріалом (виділеннями), тому вони не запливають і служать тривалим спорудою для пропуску

осадових вод. Не рахуючи найкращого волого-і повітряного забезпечення, черв'яки, переміщаючись в ґрунті, переносять органічний матеріал, вапно та добрива.

Окрім того ці ходи зменшують щільність землі, що сприяє росту коренів. По-друге, дощові хробаки перемішують різні шари ґрунту виносячи наверх землю з нижніх шарів і зтягуючи рештки рослин на глибину.

По-третє, земля що пройшла через кишковий тракт червів збагачується біологічно активними мікроорганізмами.

Особливо помітно, що при обробітку ґрунту рухомими органами (фреза) зникає велика кількість дощових черв'яків. Це пояснюється малим кроком впливу на ґрунт фрезерними робочими органами та дуже інтенсивним подрібненням. Застосування копальних робочих органів з великим кроком копання (20 -25 см) не тільки зберігає черв'яків, але й створює гарні умови для їхньої життєдіяльності. Річ у тому, що плужна підшва, що виникає внаслідок роботи плуга, заважає проникненню їх у нижні шари ґрунту. Особливо це важливо у сухий період, коли більшість земних представників фауни намагаються проникнути у більш вологі прошарки ґрунту.

Вплив способу обробітку ґрунту на зміну показників ґрунту було проведено вченими Франції. Вони досліджували вплив різних систем обробки ґрунту: 1 - традиційної, з використанням обертаючого плугу (глибина обробки 40 см) в агрегаті з колісним трактором потужністю 75 кВт та питомою витратою палива  $22 \frac{\text{л}}{\text{год}}$  при послідуною обробкою бороною та фрезою; 2 - з використанням ротаційного копача (ширина захвату 2,4 м) агрегатуемого з трактором потужністю 20 кВт та питомою витратою палива  $6 \frac{\text{л}}{\text{год}}$ , з послідуною обробкою фрезою на глибину 10 см [1].

При випробуваннях досліджували: вологість ґрунту, вміст органічної речовини в одиниці об'єму, наявність земельних черв'яків. Дослідження проводили на глинистих ґрунтах. Вміст вологи на обробленій ділянці копачем було більшим, ніж при обробці плугом, при чому різниця була особливо відчутна на другий рік [1].

Проведенні дослідження виявили, що система обробки ґрунту суттєво впливає на вміст в ґрунті вуглецю та біомаси, а також на відносну вологість ґрунту. Так, при

традиційній системі обробки карбонатних ґрунтів плугом через один рік кількість вуглецю значно зменшилось - з  $36,3 \frac{\text{г}}{\text{м}^2}$ , а при обробці ґрунту ротаційним копачем - до  $30,04 \frac{\text{г}}{\text{м}^2}$  [1].

Через 2 роки кількість вуглецю ще більше знизилось: відповідно на 37% та 23%. Важливо також, що через 10 років кількість вуглецю зменшилась на 57% при традиційній обробці, а при обробці копачем вуглець повністю відновився (рисунок 3.1) [1].

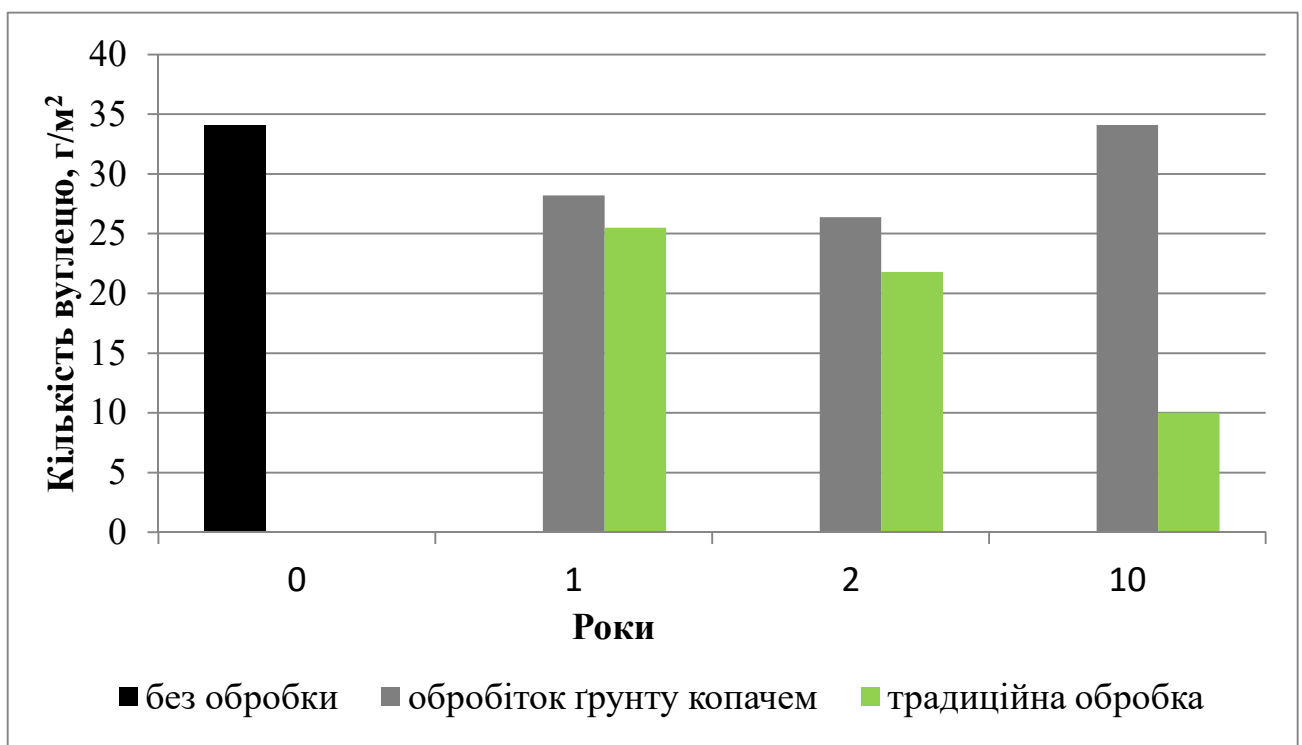
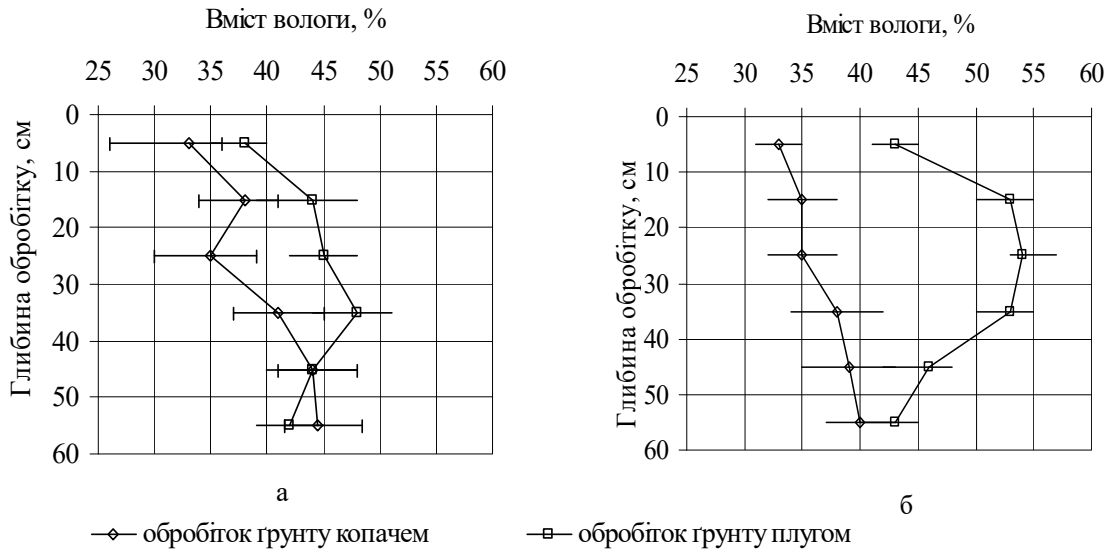


Рисунок 3.1 – Вплив способу обробки ґрунту на вміст вуглецю [1]

При порівнянні з початковим вмістом біомаси ( $36,3 \frac{\text{г}}{\text{м}^2}$ ) після обробки ґрунту плугом відмічено зменшення вмісту земляного черв'яка. При цьому біомаса становила  $0,78 \frac{\text{г}}{\text{м}^2}$ . Згодом біомаса поступово збільшилася на обох дільницях [1].

При дослідженні впливу способу обробки ґрунту виявлено, що при обробці ґрунту копачем волога значно краще розподіляється по шарах ґрунту, що свідчить про якісний дренаж. На рисунку 3.2 показаний розподіл вологи по прошаркам 0-10 см одразу після обробки (рис 3.2, а) та через один рік (Рисунок 3.2, б).



а – безпосередньо після обробітку; б – через один рік після обробітку [1]

Рисунок 3.2 - Вплив способів обробітку ґрунту на вміст вологи:

Додатковим завданням механічного обробітку ґрунту являється зміна будови та фізичних властивостей орного шару ґрунту, що досягається наданням йому розпушеного стану [25].

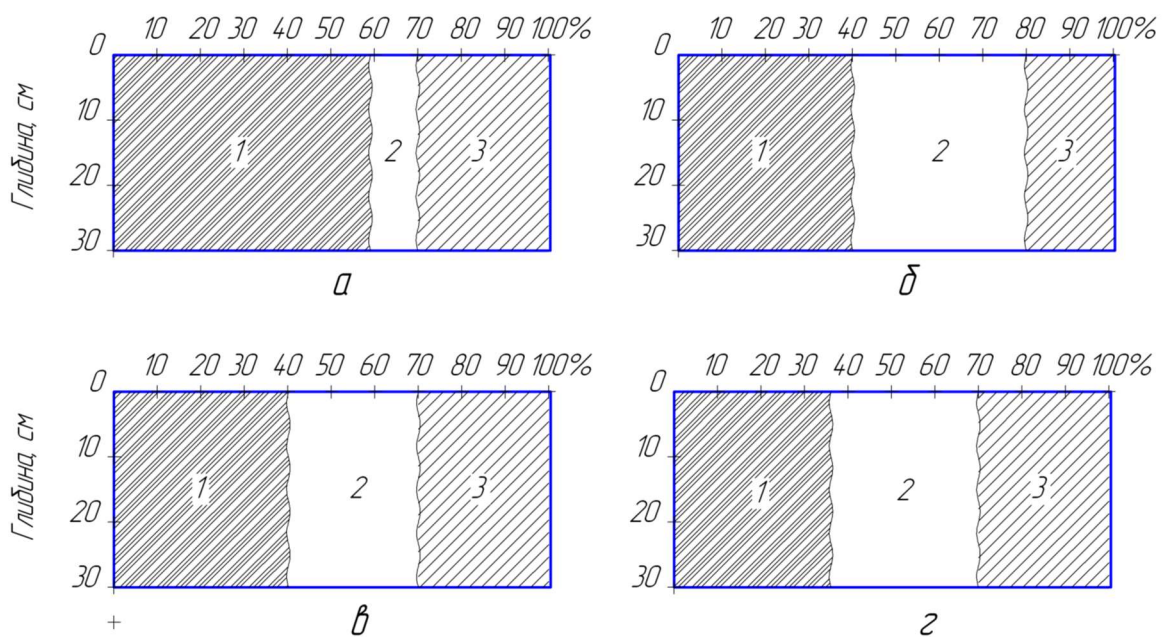
Періодичне розпушування застосовують, коли ґрунт ущільнюється внаслідок осідання, під впливом машин і знарядь під час обробітку, внесення добрив, догляду і збирання врожаю. Це сприяє погіршенню структури ґрунту, водного, повітряного і поживного його режимів. Якщо ґрунт ущільнюється у вигляді ґрунтової підшви, зазвичай застосовують глибоке розпушування, що несе із собою додаткові витрати на паливно-мастильні матеріали та потребують матеріального і технічного забезпечення. Тому зростає актуальність механічного обробітку ґрунту за допомогою копачів, які не створюють плужної підшви та можуть якісно обробити ґрунт за один прохід агрегату.

Під час обробітку змінюється також співвідношення між капілярною і некапілярною пористістю (зростає некапілярна пористість), між водою та повітрям у ґрунті, поліпшуються його водний і повітряний режими. Співвідношення вологи і повітря у ґрунті, а також ступінь ущільнення і вирівняності поверхні ріллі впливають на тепловий режим. Завдяки зміні будови орного шару ґрунту під час обробітку в



ньому створюються сприятливі водний, повітряний, тепловий і поживний режими.

Співвідношення вологи і повітря в ґрунті, а також ступінь ущільнення і вирівняності поверхні ріллі впливають на тепловий режим. Також вченими встановлено, що обробіток ґрунту впливає на відношення між твердою, газоподібною та рідкою фазою ґрунту. Досліди щодо цими відношеннями наочно представлені на рисунку 3.3.



1 - тверда фаза; 2- газоподібна фаза; 3 - рідка фаза

а - до обробітку; б - після обробітку плугом; в - оптимальна [4];

г - після обробітку копачем ТДАТУ;

Рисунок 3.3 – Будова орного шару ґрунту

Як видно з рисунку плуг оптимально змінює наявність твердої фази, але суттєво збільшує газоподібну фазу. Це призводить до того, що відсоткова доля рідкої фази зменшується і становиться менше оптимальної. Погіршується водний баланс ґрунту. Це пов'язано з тим, що плуг змінює структуру ґрунту, плужна підшва перешкоджає потраплянню вологи з нижніх прошарків. Гребні збільшують повітряну ерозію. Що стосується копача, то він більше відповідає оптимальним вимогам до обробки. Після обробітку копачем зменшується відсотковий вміст твердої фази, який

становиться менше оптимального. Це пояснюється тим, що копач краще подрібнює ґрунт. Але при цьому зберігається оптимальний водний баланс, що досягається завдяки відсутності переущільненого нижнього шару ґрунту. Газоподібна фаза стає більшою завдяки кращому розпушенню.

Перевертання верхнього шару ґрунту - основний процес обробітку. При цьому верхня більш ущільнена частина орного шару часто з розпиленими частками потрапляє вниз, а на поверхню вивертаються глибші шари з кращими фізичними властивостями і структурою. Крім того, внаслідок вивертання на поверхню глибших шарів поліпшується їх біологічна активність, яка звичайно нижча за активність верхнього шару.

В умовах достатнього зволоження обробіток ґрунту з перевертанням скиби загримує викликане низхідною течією води вимивання колоїдних і розчинених речовин у глибші шари. Переміщення їх при відсутності відповідного обробітку призводить до типового горизонту вимивання з виникненням під ним зони вимивання, із якої може утворюватися ущільнений шар. Це прискорюється при тривалій відсутності рослинного покриву, що призводить до сильного вилюговування і тим самим до підкислення ґрунту. Переміщенню поживних речовин

у глибокі шари в умовах достатнього зволоження можна запобігти перевертанням скиби, тобто лише за допомогою оранки. Крім того, глибоко перевертати ґрунт необхідно для повернення з нижніх шарів колоїдів і розчинних речовин у верхній шар.

Перевертання орного шару добре бореться із шкідниками і хворобами рослин. Шкідники, які живуть у нижніх шарах ґрунту, під час оранки потрапляють у верхні, де гинуть від несприятливих умов. В свою чергу шкідники з верхніх шарів потрапляють у нижні, де також гинуть від нестачі повітря. Так само гине від заорювання у нижні шари ґрунту багато збудників грибних та бактеріальних хвороб.

Для вдосконалення обертання застосовують плуги з передплужниками (зменшена копія основного корпусу плуга, що складається з полиці, лемеша і стійки). Таку оранку називають культурною. Схему такої оранки наведено на рисунку 3.4. З нього видно, що навіть плуги з передплужником, внаслідок конструктивних

особливостей та особливостей роботи перевертають шар ґрунту лише на  $135^{\circ}$ . У порівнянні з плугом пропонований нами робочий орган копального типу перевертає орний шар на  $180^{\circ}$ . Це дозволить зберегти структуру ґрунту.

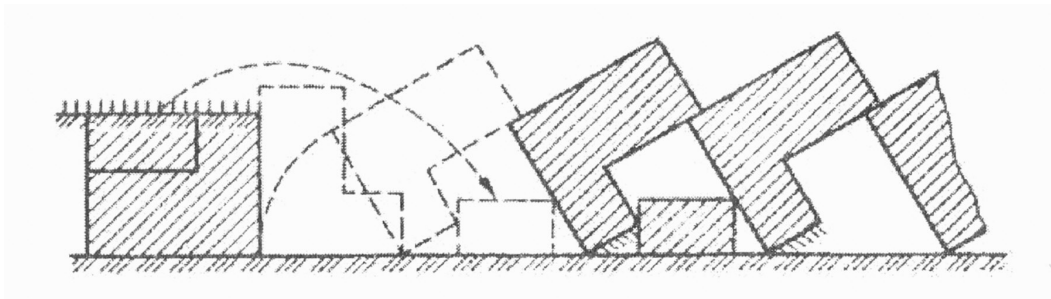


Рисунок 3.4 – Схема оранки плугами з передплужником

Механічний обробіток буде раціональний тоді, коли його здійснюють невеликою кількістю машин і знарядь. На обробіток припадає основна маса матеріальних затрат у сільськогосподарському виробництві. Тому підвищення ефективності цих витрат методом раціоналізації заходів обробітку має винятково важливе значення [7]. Впровадження енергозощаджувальних засобів основного обробітку ґрунту окуповується завдяки збереженню палива, що напряду впливає на собівартість продукції.

У посушливих районах завдання обробітку ґрунту - нагромадження і збереження в ньому вологи. В умовах надмірного зволоження обробітком ґрунту відводиться зайва волога і в орному шарі створюється сприятливий водно-повітряний режим. Одним із факторів збереження вологи в ґрунті являється вирівнювання поверхні ґрунту механічними засобами.

Вирівнювання ґрунту - зменшення розмірів нерівностей його поверхні. Цей захід проводять волокушами, шлейфами, котками і боровами. Планують поля, зокрема для зрошення й усунення ерозії ґрунту, грейдерами, бульдозерами, скреперами, планувальниками-вирівнювачами та іншими машинами і знаряддями [10].

Вирівнювання зменшує випаровування з поверхні ґрунту, створює умови для кращого висіву насіння на однакову глибину та полегшує виконання всіх робіт по

сівбі, догляду за рослинами, збиранню врожаю. Це обов'язковий захід при весняному і літньому обробітках ґрунту. Після вирівнювання поверхні знижується взаємодія орного шару ґрунту з атмосферою. Гребенева поверхня брилиста й хвиляста, більше випаровує вологи, ніж вирівняна. Тому одночасно з оранкою, культивацією і лущенням у посушливих умовах слід проводити боронування, шлейфування або коткування під час весняно-літнього обробітку ґрунту.

У посушливих умовах вирівнювання поля і дрібногрудочкуватий стан ґрунту з доброю будовою позитивно впливають на тепловий режим: меншою є амплітуда коливання добової температури.

На фоні цієї проблеми рішенням може виступати застосування роторного копача, який залишає після себе рівну поверхню. Таке знаряддя дозволить затримати у ґрунті максимальну кількість вологи.

Для розвитку коріння має значення не лише розпушення, а й наближення часток одна до одної, тобто певна щільність ґрунту. Ущільнення ґрунту зменшує його некапілярну пористість і збільшує капілярну, завдяки чому посилюється надходження вологи до поверхні ґрунту, що необхідно для прискорення появи сходів. Ущільнена будова потрібна перед висіванням дрібного насіння, для зменшення глибини і рівномірнішого його загортання. Ущільненням це зміна взаємного розміщення ґрунтових часток із зменшенням об'єму ґрунту. Крім того, руйнуються брили і ґрунт дещо осідає. Корені рослин добре ростуть і краще використовують воду та поживні речовини тоді, коли вони тісно прилягають до твердої фази. Це буває за відповідної щільності, що характерно для кожного типу ґрунту і виду рослин. Тому агрономи не радять використовувати фрезерні робочі органи. Занадто розущільнений ґрунт погано впливає на водний і повітряний баланси ґрунту. У обробленому фрезою ґрунті волога швидко проникає у нижні шари ґрунту, а зруйнована структура не дає волозі піднятися по капілярам до коріння рослин. А також у такому ґрунті поживні речовини знаходяться в недоступній для рослин формі. Однак застосування роторного робочого органу, що працює по принципу копання виключає такі негативні явища обробітку ґрунту.

Екологічні показники роботи копача наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Екологічні показники роботи копача

Показник	Плуг	Копач	Відхилення (+/-)
Зниження біомаси одразу після обробітку: початковий показник; г/м <sup>2</sup>	36,3	36,3	-
одразу після обробітку: відносно початкового значення:	0,78 г/м <sup>2</sup> -97,85 %	8,48 г/м <sup>2</sup> -76,6 %	+ 7,70 +21,25 %
Вміст вуглецю:			
перший рік після обробки:	-28 %	-17 %	+11
другий рік після обробки:	-37 %	-23 %	+14
десятий рік після обробки	-57 %	-0 %	+57
Твердість ґрунту по дну борозни, кг/см <sup>2</sup>	45	20,3	- 45 %

Для того, щоб дослідити якість обробки ґрунту різноманітними ротаційними машинами вчені США досліджували розподіл зароблених у ґрунт з певною методикою керамічних кульок. При цьому використовували три фрези Kuhn, Fobro, NW та копач Gramegna. В процесі досліджень встановлено, що копач більш рівномірно розподіляла кульки в ґрунті, ніж фрези [2].

Проведенні в 2015 році в Нідерландах незалежні дослідження PPO-AGV [1] основного обробітку піщаного, суглинного та глинистого ґрунтів (після збирання сахарного буряку) ротаційним копачем Imants 47 SP 300DRH і чотирьох корпусним плугом встановили, що копач споживає на 22 % палива менше, а продуктивність у його на 56 % вище, ніж у плуга.

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **4.1 Нормативна база з охорони праці в рослинництві**

До чинних на території України спеціальних нормативних актів з охорони праці в рослинництві належать [6]:

- Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві НПАОП 01.1-1.01-00 (ДНАОП 2.0.00-1.01-00);
- Правила безпеки праці під час виконання робіт у захищеному ґрунті НПАОП 01.1-1.02-01 (ДНАОП 2.1.10-1.01-01);
- Правила безпеки та виробничої санітарії для насінневих заводів НПАОП 01.1-1.18-85 (НАОП 1.8.10-1.18-85);
- ССБП. Процеси виробничі. Бавовництво. Вимоги безпеки НПАОП 01.1-7.01-84 (НАОП 2.1.10-2.04-84 (ОСТ46.3.1.160-84));
- ССБТ. Процеси виробничі в сільському господарстві, ефіроолійні культури. Вимоги безпеки НПАОП 01.1-7.02-84 (НАОП 2.1.10-2.10-84 (ОСТ 46.3.1.155-84));
- Примірні інструкції з охорони праці під час виконання ручних робіт у рослинництві ПІ 2.0.00-081-99;
- Примірні інструкції з охорони праці під час виконання робіт із пестицидами та агрохімікатами ПІ 2.0.00-082-99;
- Примірні інструкції з охорони праці під час післязбиральної доробки зерна ПІ 2.0.00-083-99;
- Примірні інструкції з охорони праці під час заготівлі кормів ПІ 2.0.00-084-99;
- Примірні інструкції з охорони праці під час доробки та закладання на зберігання плодоовочевої продукції ПІ 2.0.00-085-99;
- Примірні інструкції з охорони праці під час виконання робіт у садах і на виноградниках ПІ 2.0.00-086-99;
- Примірні інструкції з охорони праці під час виконання робіт у захищеному ґрунті ПІ 2.0.00-087-99;

- Примірна інструкція з охорони праці для тракториста-машиніста сільськогосподарського виробництва ПП 2.0.00-013-1999 та ін.

Специфіку охорони праці в тваринництві відображають такі нормативні акти:

- Техніка безпеки для робітників, які зайняті монтажем технологічного устаткування тваринницьких і птахівничих ферм НПАОП 01.2-1.01-67 (НАОП 2.1.20-1.05-67);

- Правила охорони праці у тваринництві. Свинарство НПАОП 01.2-1.09-05;

- Правила охорони праці у тваринництві. Велика рогата худоба НПАОП 01.2-1.10-05;

- Правила охорони праці у птахівництві НПАОП 01.2-1.03-08;

- Примірна інструкція з охорони праці під час заготівлі кормів ПП 2.0.00-084-1999;

- Примірна інструкція з охорони праці під час догляду за тваринами ПП 2.1.00-089-2000;

- Примірна інструкція з охорони праці під час виконання робіт у птахівництві ПП 2.1.00-090-2000;

- Примірна інструкція з охорони праці під час ветеринарних, санітарно-профілактичних робіт та штучного осіменіння тварин ПП 2.1.00-091-2000;

- Примірна інструкція з охорони праці під час механічного та ручного доїння ПП 2.1.00-092-2000 та ін.

Особливості охорони праці в обслуговуючих процесах містять:

- Правила охорони праці під час технічного обслуговування та ремонту машин і обладнання сільськогосподарського виробництва НПАОП 01.41-1.01-01 (ДНАОП 2.2.00-1.01-01);

- Правила з безпечного складування, зберігання, перевезення, підготовки і внесення в ґрунт аміачної селітри НПАОП 01.41-1.05-72 (НПАОП 63.12-1.07-72) (НАОП 2.2.00-1.05-72);

- Правила техніки безпеки при роботі з водним аміаком (аміачною водою) НПАОП 01.41-1.07-63 (НАОП 2.2.00-1.07-63);

- Правила безпечного застосування рідкого аміаку в сільському господарстві

НПАОП 01.41-1.08-82 (НАОП 2.2.00-1.08-82);

- Правила безпечної експлуатації насосних станцій водогосподарських систем меліорації НПАОП 01.41-1.11-99 (ДНАОП 2.2.00-1.11-99);

- Правила безпечної експлуатації каналів, трубопроводів, інших гідротехнічних споруд у водогосподарських системах меліорації НПАОП 01.41-1.12.00 (ДНАОП 2.2.00-1.12.00);

- Примірні інструкції з охорони праці під час приймання, зберігання й видачі паливо-мастильних матеріалів та заправлення ними машин ПП 2.1.00-115-2000 тощо.

## **4.2 Аналіз небезпечних факторів**

У процесі виробництва на працівників можуть діяти небезпечні та шкідливі виробничі фактори згідно з ГОСТ 12.0.003.

Фізичні небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- рухомі машини й механізми; рухомі частини виробничого обладнання; вироби, заготовки, матеріали, які рухаються;

- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;

- підвищена чи знижена температура поверхні обладнання й матеріалів;

- підвищена чи знижена температура повітря робочої зони;

- підвищений рівень шуму на робочому місці;

- підвищений рівень вібрації;

- підвищений рівень інфразвукових коливань;

- підвищений рівень ультразвуку;

- підвищена чи знижена вологість повітря;

- підвищена чи знижена рухомість повітря;

- підвищений рівень статичної електрики;

- прямий і відбитий блискіт;

- гострі краї, задирки, шорсткість на поверхнях заготовок, інструменту й обладнання;

Хімічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори:



- токсичні;
- подразливі;
- сенсibiliзувальні;
- канцерогенні;
- мутагенні;
- такі, що впливають на репродуктивну функцію.

До цієї групи відносяться пестициди, агрохімікати, гази розкладу органічних речовин, відпрацьовані гази, зварювальні аерозолі, підвищені концентрації пилу з умістом SiO<sub>2</sub> тощо.

Біологічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, рикетсії, спірохети, гриби, найпростіші) та продукти їх життєдіяльності;
- макроорганізми (рослини та тварини).

Психофізіологічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- фізичні перевантаження (статичні й динамічні);
- нервово-психічні перевантаження (розумове перенапруження, перенапруження аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження).

Джерелами шкідливих і небезпечних факторів можуть бути:

- зовнішні метеорологічні фактори (вітер, опади, гроза, сонячна радіація, низька або висока температура зовнішнього повітря, ожеледиця тощо);
- неправильні режими роботи технологічних систем;
- транспорт, що рухається;
- машини і механізми технологічних систем для обробітку ґрунту, догляду за рослинами та тваринами;
- інженерні комунікації;
- устаткування, що працює під тиском;
- застосовувані пестициди і агрохімікати;
- електрифіковане устаткування, інструмент і електропроводка;
- ручні роботи, що викликають фізичні і нервово-психічні перевантаження.

Відповідно до ст. 17 Закону України “Про охорону праці” власник

зобов'язаний створити в кожному структурному підрозділі і на робочому місці умови праці відповідно до вимог нормативних актів, а також забезпечити додержання прав працівників, гарантованих законодавством про охорону праці.

### **4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях**

Хімічно небезпечними об'єктами (ХНО) називають підприємства народного господарства, які виробляють, зберігають та використовують у виробничому циклі небезпечні хімічні речовини (НХР).

В сучасних технологіях підприємств народного господарства широко застосовуються хімічні сполуки, більшість з яких небезпечні для людини. Серед 10 млн. хімічних речовин, що використовуються у промисловості, сільському господарстві та побуті, більше 500 – високотоксичні [38].

Навколишнє середовище НХР потрапляють в процесі виробничих і транспортних аварій, при стихійному лиху.

Крім того, всі НХР поділяються на швидкодіючі і повільно діючі. При ураженні першими картина отруєння розвивається швидко, а при отруєнні повільно діючими до прояві симптомів ураження проходить кілька годин, має місце так званий латентний період.

Тривалість зараження місцевості НХР залежить від їх стійкості – часу, продовж якого вони спроможні нанести ураження незахищеній людині.

Стійкість і здатність заражати поверхні землі та різних об'єктів залежить від температури кипіння отруйної речовини. До нестійких відносяться НХР із температурою кипіння нижче  $130^{\circ}\text{C}$ , а до стійких – отруйні речовини з температурою кипіння вище  $130^{\circ}\text{C}$ . Нестійкі НХР заражають місцевість на одиниці чи десятки хвилин. Стійкі – зберігають уражаючі властивості, на термін від декількох годин до декількох місяців.

На зараженій території небезпечні хімічні речовини можуть знаходитися у рідкому, твердому, краплиннорідкому, пароподібному, аерозольному і газоподібному стані.

При викиді в атмосферу паро і газоподібних хімічних сполук формується первинна заражена хмара, що поширюватиметься в атмосфері. Гази з високим показником щільності будуть стелитися вздовж землі, «затікати» у низини, а гази із щільністю менше 1 – розсіюватися у верхніх шарах атмосфери.

Характер зараження місцевості залежить від багатьох факторів: способу викиду хімічних речовин в атмосферу ( розлив, вибух, пожежі); від агрегатного стану агентів, що заражають, (твердому, рідкому, газоподібному); від швидкості випаровування хімічних речовин з поверхні землі і інших.

У кінцевому результаті, зона хімічного зараження включає дві території. До першої відноситься район, що опинився у безпосередньому впливі хімічної речовини, до другої належить місцевість, над якою поширюється заражена хмара.

Зазначені і багато інших факторів, що характеризують хону хімічного зараження, необхідно враховувати при плануванні аварійно-рятувальних робіт з ліквідації наслідків аварій на хімічно небезпечних об'єктах.

Загальні вимоги до організації і проведення аварійно-рятувальних робіт при аваріях на хімічно небезпечних об'єктах установлює Державний стандарт ГОСТ Р 22.8-05-99. [18].

Зокрема, відповідно до вищенаведеного стандарту:

- аварійно-рятувальні роботи повинні починатися негайно після ухвалення рішення на проведення невідкладних робіт і проводитися з використанням засобів індивідуального захисту органів дихання і шкіри, що відповідають характеру хімічної обстановки;

- попередньо проводиться розвідка аварійного об'єкту і зони зараження, масштабів і границь зони зараження, уточнення стану аварійного об'єкта, визначення типу НС.

Головними задачами хімічної розвідки є:

- уточнення наявності і концентрації отруйних речовин на об'єкті робіт, границь і динаміки зміни хімічного зараження;

- одержання необхідних даних для організації аварійно-рятувальних робіт і заходів безпеки населення і сил, що здійснюють ліквідацію аварії;

- постійне спостереження за зміною хімічної обстановки в зоні НС, своєчасне попередження про різку зміну обстановки.

Одночасно в зоні зараження ведуться пошуково-рятувальні роботи. Пошук потерпілих проводиться шляхом суцільного візуального обстеження території, будинків, споруджень, цехів, транспортних засобів і інших місць, де могли знаходитися люди в момент аварії, а також шляхом опитування очевидців і за допомогою спеціальних приладів у випадку руйнувань і завалів.

Рятувальні роботи в зоні зараження проводяться з обов'язковим використанням засобів індивідуального захисту шкіри й органів дихання.

При порятунку потерпілих на ХНО враховується характер, ступінь ураження, місце перебування потерпілого. При цьому здійснюються наступні заходи;

- деблокування потерпілих, що знаходяться під завалами зруйнованих будинків і технологічних систем, а також в ушкоджених блокованих приміщеннях;
- екстрене припинення впливу НХР на організм уражених шляхом застосування засобів індивідуального захисту й евакуації із зони зараження;
- надання першої медичної допомоги потерпілим;
- евакуація уражених у медичні пункти та в установи для надання лікарської допомоги і подальшого лікування.

Перша медична допомога повинна надаватися на місці ураження, при цьому необхідно:

- забезпечити швидке припинення впливу НХР на організм через видалення крапель речовини з відкритих поверхонь тіла, промивання очей і слизуватих;
- відновити функціонування важливих систем організму шляхом найпростіших заходів (відновлення прохідності дихальних шляхів, штучна вентиляція легенів, непрямий масаж серця);
- накладити пов'язки на рани і іммобілізувати ушкоджені кінцівки;
- евакуювати уражених до місця надання лікарської допомоги і наступного лікування.

Одним із найважливіших заходів є локалізація надзвичайної ситуації і осередку ураження. Локалізацію, чи зниження до мінімального рівня впливу

виниклих при аварії на ХНО уражаючих факторів в залежності від типу НС, наявності необхідних технічних засобів і нейтралізуючих речовин здійснюють такими способами:

- припиненням викидів НХР способами, що відповідають характеру аварії;
- постановкою рідинних завіс (водяних чи нейтралізуючих розчинів) у напрямку руху хмари зараженого повітря;
- створенням висхідних теплових потоків у напрямку руху хмари НХР;
- розсіюванням і зсувом хмари зараженого повітря газоповітряним потоком;
- обмеженням площі впливу та інтенсивності випару токсичної речовини;
- збором (відкачкою) НХР у резервні ємності;
- охолодження проливу рідини твердою вуглекислою чи нейтралізуючими речовинами;
- загущенням проливу спеціальними рецептурами за наступними нейтралізацією і вивозом;
- випалюванням токсичної рідини.

В залежності від типу НС локалізація і знешкодження хмар і проливів НХР може здійснюватися комбінуванням наведених способів комбінуванням наведених способів.

## **5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ**

Обробіток ґрунту є важливою складовою агротехніки і спрямований на підвищення родючості ґрунту та забезпечення постійно зростаючих урожаїв сільськогосподарських культур високої якості з найменшими затратами матеріальних, енергетичних і трудових ресурсів. Нині на обробіток ґрунту витрачається майже 40 % енергетичних і 25 % трудових затрат від загального обсягу польових робіт, запланованих на виробництво рослинницької продукції. Ще більше зростатиме роль механічного обробітку ґрунту у разі переходу сільськогосподарського виробництва на екологічне землеробство.

Механічний обробіток ґрунту — це дія на нього робочими органами знарядь і машин з метою створення оптимальних умов і забезпечення факторами життя для росту і розвитку сільськогосподарських рослин та захисту ґрунту від ерозії. Внаслідок правильного механічного обробітку поліпшується фізичний стан ґрунту, створюються кращі умови для біологічних і хімічних процесів у ґрунтовому середовищі. В результаті такого обробітку підвищується ефективність всіх інших агротехнічних заходів (системи удобрення, сівозмін, захисту рослин від бур'янів, шкідників і хвороб та ін.) у найраціональнішому відтворенні родючості ґрунту.

Економічне оцінювання нової або модернізованої сільськогосподарської техніки проводять з метою визначання її економічної ефективності порівняно з технікою, яку замінюють, а також виявлення впливу, який вона здійснює на результати виробництва. Критерієм економічного оцінювання є річний економічний ефект від експлуатації нової машини.

На етапі випробовування за базу для порівняння приймають показники техніки, яку замінюють (аналога), а також найефективніші за критеріальним показником вітчизняні та зарубіжні технічні засоби, що є на ринку. На всіх стадіях створення та впровадження машинних технологій та комплексів машин варіантами для порівняння є серійні оптимальні структури машинно-тракторних парків (МТП).

Показниками економічної ефективності виступають: продуктивність, витрата

палива на обробіток 1 га площі, енергоємність процесу, затрати ти праці.

Для розрахунку економічної ефективності порівняємо пропонований копач ТДАТУ з зазвичай застосованим знаряддям для глибокого обробітку – плугом ПНЛ-3-35 агрегованого з трактором тягового класу 1,4 кН, наприклад МТЗ-80 з потужністю двигуна 59 кВт та питомою витратою палива  $q_e = 0,238$  кг/кВт·год [паспорт].

Для основного обробітку ґрунту за допомогою аналогічних копачів використовують трактори тягового класу 0,6 кН [18], наприклад трактор Т 25 А з потужністю двигуна 20 кВт та питомою витратою палива  $q_e = 0,244$  кг/кВт·год [паспорт].

Розрахуємо витрату палива на 1 га площі для підготовки поля під сівбу. Для цього після оранки проводять додаткову культивування (трактором МТЗ-80 та культиватором КПС-4) та культивування, поєднану з боронуванням (МТЗ-80+КПГ-4+4БЗСС-1) . Враховуючи якісні показники копача та відповідність обробітку вимогам, висунутим для ґрунтообробних агрегатів основного обробітку ґрунту після обробітку виконуємо лише весняне боронування (МТЗ-80+4БЗСС-1).

Годинну продуктивність агрегату  $W_{год}$  ( $\frac{га}{год}$ ) розраховують за формулою :

$$W_{год} = 0.1 \cdot B_p \cdot v_p \cdot \tau, \quad (5.1)$$

де  $B_p$  – робоча ширина захвату, м;

$v_p$  – робоча швидкість агрегату  $\frac{км}{год}$  ;

$\tau$  – коефіцієнт використання часу зміни

$$B_p = B_k \cdot \beta_k, \quad (5.2)$$

де  $B_k$  – конструктивна ширина захвату, м;

$\beta_k$  – коефіцієнт використання ширини захвату

Для розрахунків приймаємо  $\beta_k = 1,1$

$V_p$  для плуга =  $1,05 \cdot 1,1 = 1,16$  м

$V_p$  для копача = 0,99 м [із попередніх розрахунків]

$v_p = 7 \frac{\text{км}}{\text{год}}$  - для плуга

$v_p = 1,62 \frac{\text{км}}{\text{год}}$  - для копача

$\tau = 0,8$

$W_{\text{год}}$  (для плуга) =  $0,1 \cdot 1,16 \cdot 7 \cdot 0,8 = 0,65 \left(\frac{\text{га}}{\text{год}}\right)$

$W_{\text{год}}$  (для копача) =  $0,1 \cdot 0,99 \cdot 1,62 \cdot 0,8 = 0,13 \left(\frac{\text{га}}{\text{год}}\right)$

Продуктивність роботи МТА з плугом значно вище за ту ж роботу копачем. Це пояснюється маленькою швидкістю роботи копача, та невеликою шириною захвату. Продуктивність можна значно підвищити конструктивно за рахунок збільшення секцій робочих органів (кратних трьом).

Витрату палива на підготовку поля при роботі тракторного агрегату визначають за формулою:

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{глиб}} + Q_{\text{культив}} + Q_{\text{культив+борон}} + Q_{\text{борон}}, \quad (5.3)$$

де  $Q_{\text{глиб}} + Q_{\text{культив}} + Q_{\text{культив+борон}} + Q_{\text{борон}}$  – витрата палива на глибокий обробіток ґрунту, культивуацію, культивуацію з боронуванням та боронування відповідно

Витрата палива на глибокий обробіток знаходять за формулою [39]:

$$Q_{\text{глиб}} = W_e \cdot q_e, \quad (5.4)$$

де  $W_e$  – енерговитрати для проведення операції кВт·год/га;

$q_e$  – питома витрата палива енергетичного засобу, кг/кВт·год



$$W_e = N \cdot t, \quad (5.5)$$

де  $N$  – потужність, витрачена на виконання процесу, кВт;

$t$  – час затрачений на обробіток 1 га площі ( $\frac{\text{год}}{\text{га}}$ )

$$N_{\text{(плуг)}} = 25 \text{ кВт [30]}$$

$$N_{\text{(копач)}} = 5,25 \text{ кВт [попередні розрахунки]}$$

$$t = \frac{1}{W_{\text{год}}} \quad (5.6)$$

$$t_{\text{плуг}} = \frac{1}{0,65} = 1,54 \frac{\text{год}}{\text{га}}$$

$$t_{\text{копач}} = \frac{1}{0,13} = 7,69 \frac{\text{год}}{\text{га}}$$

$$W_{e \text{ (плуг)}} = 25 \cdot 1,54 = 40,5 \text{ кВт} \cdot \text{год/га};$$

$$W_{e \text{ (копач)}} = 5,25 \cdot 7,69 = 36,4 \text{ кВт} \cdot \text{год/га}$$

Питому витрату палива беремо із технічного паспорту агрегатуємого для операції трактору.

$$q_e \text{ (плуг)} = 0,238 \text{ кг/кВт} \cdot \text{год [паспорт]}$$

$$q_e \text{ (копач)} = 0,244 \text{ кг/кВт} \cdot \text{год [паспорт]}$$

$$Q_{\text{згіб (плугом)}} = 40,5 \cdot 0,238 = 9,64 \text{ кг/га};$$

$$Q_{\text{згіб (копач)}} = 36,4 \cdot 0,244 = 8,79 \text{ кг/га}$$

Витрату палива для культивації беремо із довідкової літератури [24]:

$$Q_{\text{культив}} = 3,32 \text{ кг/га};$$

$$Q_{\text{культив+борон}} = 3,74 \text{ кг/га};$$

$$Q_{\text{борон}} = 1,11 \text{ кг/га};$$

$$Q_{\text{заг (плугом)}} = 9,64 + 3,32 + 3,74 = 16,70 \text{ кг/га};$$

$$Q_{\text{заг (копач)}} = 8,79 + 1,11 = 9,90 \text{ кг/га};$$

Енергоємність процесу (E, МДж/га) визначають із залежності:

$$E = 3,6 \cdot W_e \quad (5.7)$$

$$E_{(\text{плуг})} = 3,6 \cdot 40,5 = 145,8 \text{ МДж/га};$$

$$E_{(\text{копач})} = 3,6 \cdot 36,4 = 131,0 \text{ МДж/га}$$

Затрати праці на виконання процесу ( $Z_{\text{заг}}$ , люд. год./га) знаходять за формулою:

$$Z_{\text{заг}} = Z_{\text{глиб}} + Z_{\text{культив}} + Z_{\text{культив+борон}} + Z_{\text{борон}}, \quad (5.8)$$

де  $Z_{\text{глиб}}$ ,  $Z_{\text{культив}}$ ,  $Z_{\text{культив+борон}}$ ,  $Z_{\text{борон}}$  - затрати праці на глибокий обробіток ґрунту, культивуацію, культивуацію з боронуванням та боронування відповідно  
Затрати праці на глибокий обробіток знаходять із залежності:

$$Z_{\text{глиб}} = \frac{L \cdot t}{\tau}, \quad (5.9)$$

де L – кількість людей, зайнятих на виконання процесу, людей;

$\tau$  – коефіцієнт використання часу зміни;

Для розрахунків приймаємо L = 1,

$$\tau = 0,85$$

$$Z_{\text{глиб (плуг)}} = \frac{1 \cdot 1,54}{0,85} = 2,81 \text{ люд. год/га};$$

$$Z_{\text{глиб (копач)}} = \frac{1 \cdot 7,69}{0,85} = 8,05 \text{ люд. год/га}$$

Затрати праці на наступні операції знаходять за формулою:

$$Z_i = \frac{t_{\text{зм}}}{B_i}, \quad (5.10)$$

де – тривалість зміни, год

$V_i$  – норма виробітку на  $i$ -ту операцію га/зміна;

$$t_{зм} = 8 \text{ год}$$

$$V_{культ} = 16,50 \text{ га/зміну}; [24];$$

$$V_{культ+борон} = 17,21 \text{ га/зміну}; [25];$$

$$V_{борон} = 57,2 \text{ га/зміну}[33]$$

$$Z_{культ} = \frac{8}{16,50} = 0,51 \text{ люд. год/га};$$

$$Z_{культив+борон} = \frac{8}{17,21} = 0,56 \text{ люд. год/га};$$

$$Z_{борон} = \frac{8}{57,2} = 0,14 \text{ люд. год/га};$$

$$Z_{заг (плуг)} = 2,81 + 0,51 + 0,56 = 3,88 \text{ люд. год./га};$$

$$Z_{заг (копач)} = 8,05 + 0,14 = 8,19 \text{ люд. год./га.}$$

Вихідні дані та результати обчислювання показників порівняльної економічної ефективності наведені в таблиці 5.1

Таблиця 5.1 – Економічні показники пропонованих рішень

Економічні показники	Плуг ПНЛ-3-35	Копач ТДАТУ	Відхилення (+/-)
Робоча ширина захвату, м	1,16	0,99	-0,17
Робоча швидкість агрегату, км/год.	7	1,62	-5,38
Продуктивність, га/год	0,65	0,13	-0,52
Потужність, необхідна на виконання процесу, кВт	25	5,25	+19,75
Потужність агрегатуємого трактора, кВт	59	20	+39
Енергоємність процесу, МДж/га	145,8	131,0	+14,8
Енергоємність процесу, кВт·год/га	40,5	36,4	+4,1
Витрата палива на операцію (глибокий обробіток), кг/га	9,64	8,79	+0,85
Витрата палива на процес підготовки поля, кг/га	16,70	9,90	+6,8
Витрати праці на процес люд·год/га	3,88	8,19	-4,31

## ВИСНОВКИ

1. Механічний обробіток ґрунту є важливою складовою агротехніки вирощування сільськогосподарських культур і спрямований на поліпшення родючості ґрунту та забезпечення постійно зростаючих врожаїв культур за найменших витрат матеріальних, енергетичних і трудових ресурсів.

2. Встановлено, що найбільш перспективним для глибокого обробітку ґрунту являється копач як по енергетичним та і агротехнічним показникам (зменшення ущільнення, збереження та відновлення водного та повітряного балансу, збереження гумусу, збереження біомаси) .

3. Ротаційні копачі з обертальним рухом робочих органів більш ефективні у порівнянні з копачами, що мають коливальний рух робочих органів.

4. Пропонований копач ТДАТУ споживає на 10,1% менше енергії ніж той самий технологічний процес виконаний плугом. Затрати палива зменшуються на 9,1% на процес глибокого обробітку, а на процес підготовки поля витрачається на 40,7% менше палива, завдяки зменшенню операцій.

5. Найбільш ефективно використовувати копач ТДАТУ на невеликих площах занятих під екологічне землеробство та у захищеному ґрунті (теплицях).

6. У подальшому слід приділити увагу робочим органам, що мають форму вил. Це дозволить ще більше зменшити витрати енергії та збільшити екологічність обробітку.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Bonneton A., Consequences of two tillage systems on Vertisol evolution and on working costs / A. Bonneton, C. Hartmann, Blachart E. and other. // Soil congress. – 2000
2. Incorporation of tracers and dozomet by rotary tillage and spading machines./ Juzwik J. // Soil and Tillage Research. – № 41. – 1997. – P. 237-248.
3. Гордієнко В. П., Землеробство / Гордієнко В. П., Геркіял О. М., Опришко В. П., К.: Вища школа 1991. – 276 с.
4. Бегей С. В. Екологічне землеробство. Підручник / С. В. Бегей, І. А. Шувар – Львів: «Новий Світ-2000», 2007. – 429 с.
5. Бледных В. В. Проблемы обработки почвы/ В. В. Бледных //Достижение науки и техники АПК, № 10 – 2010.
6. Бутко Д.А. Організація охорони праці в сільському господарстві / Д.А.Бутко, В.Л.Луценков, М.Т.Воїнов та ін. - Сімферополь.: Бізнес-інформ, 1998. - 311с.
7. Бомба М. Я. Наукові і практичні основи обробітку ґрунту: Навчальний посібник / Бомба М. Я., Томашівський З. М. – Івано-Франківськ: Галичина, 1993. – 147 с.
8. Бухарин Н. А. Современные тракторы: устройство и эксплуатация. – М.-Л.: Госсельхозиздат, 1931. – 344 с.
9. Василенко П.М. Построение математических моделей машинных агрегатов. /Василенко П.М // Механизация и электрификация соц. с. х., №11, 1975, с. 51-54.
10. Веселовський І. В., Ґрунтозахисне землеробство./ Веселовський І. В., Бегей С. В. – К.: Урожай, 1995. – 304 с.
11. Гедройц К. К. Химический анализ почв. Руководство по ведению лабораторных почвенных исследований / Гедройц К. К., :М., 1955;
12. Головач А.А. Санитары и рыхлители почвы / Головач А.А. // Урожайные сотки 1998, N 4 с.26-27

13. Грицышин М. И. Исследование процесса и обоснование параметров копающих рабочих органов для основной обработки почвы на склонах и террасах./ автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Киев, 1972. 23 с.

14. Далин А.В., Ротационные грунтообрабатывающие и землеройные машины. / Далин А.В., Павлов П.В. М.: Машгиз, 1950. - 260 с.

15. Докин Б.Д. Исследование и обоснование параметров и режимов работы пропашных фрез. / Докин Б.Д. В сб. науч. тр./Сибирский филиал ВИМ. - Новосибирск, 1964, вып. 2, с. 203-217.

16. Жалнин Э. В., История развития и перспективы внедрения мостового растениеводства. /Жалнин Э. В., Муфтеев Р. С. //Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2002, № 5. с. 23-30

17. Загальне землеробство: Підручник / За ред. В. О. Єщенка. – К.: Вища освіта, 2004. – 336 с.

18. Зазулінській В.Д. Безпека життєдіяльності в надзвичайних ситуаціях / Зазулінський - М.: Видавництво «Іспит», 2006.

19. Закон України "Про внесення змін до Закону України „Про охорону праці". - Введ. 17.12.2002.

20. Иванов П. К. Основная обработка почвы на юго-востоке/П. К. Иванов//Тр. Саратов. с.-х. ин-та – Саратов, 1967. – Т. 16.- 212 с.

21. Киселев С. Н. Обоснование параметров копания для основной обработки почвы в теплицах: автореф. дис... д-ра техн. наук. - М.: 1995. — 36 с.

22. Крамаренко Л. П. Сільськогосподарські машини /Крамаренко Л. П : Т. 1. – Х.: Державне видавництво с.-г. літератури, 1938. – 400 с

23. Купряшкин В. Ф., Анализ динамических нагрузок в приводе машины для обработки почвы в теплицах МПТ - 1,2 / Купряшкин В. Ф., Наумкин Н. И., Фирсов А. Ф., Уланов А. С. //Материалы конференции. Современные наукоемкие технологии. – 2014. - №5 – с. 94-100.

24. Мітков Б.В. та ін. Про доцільність глибокого обробітку ґрунту способом копання / Б.В. Мітков, В.Б. Мітков, Т.С. Чорна, А.С. Дацер // Вісник Львівського національного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. – Львів: Львів. Нац. аграр. ун-т, 2014.– №18. – С. 56 – 61.

25. Мітков В.Б. Альтернативний спосіб глибокого обробітку ґрунту в умовах півдня України / В.Б. Мітков, В.П. Кувачов // Вісник Сумського національного аграрного університету.– Суми. 2016 – Випуск 10/1. – С. 20-25.

26. Надикто В. Т., Колійна та мостова системи землеробства. Монографія /В. Т. Надикто, В. О. Улексін. – Мелітополь. ТОВ «Видавничий будинок ММД». 2008. – 270 с.

27. Назаренко І. І., Польшина С. М. Нікорич В. А. Ґрунтознавство: Підручник. — Чернівці: Книги — ХХІ, 2004. — 400 с. Ковда В. А. Основы учения о почвах. — М.: Наука, 1983.

28. Новиков Ю. Ф. Машины в системе человек-машина-земля. /Ю. Ф. Новиков, М.: Машиностроение, 1976, 232 с. с ил.

29. Носков Г. С. Теоретическое исследование копающего рабочего органа для обработки почвы в защищенном ґрунте // Г. С. Носков., Ф. М. Канарев // Труды Кубан. Гос. аграр. ун-та, 2000. – Вып. 382. – с. 119-123.

30. Омар Хаттаб Омар. Способы основной обработки выщелоченных черноземов в звене севооборота горох-озимая пшеница: Автореф. дис. канд. с.-х. наук. На правах рукописи, Ставропольский с.-х. институт. – Ставрополь, 1990.

31. Панов А. И. Техника для обработки почвы в теплицах/ А. И. Панов, В. Г. Селиванов // Тракторы и сельскохозяйственные машины – 1997. № 3. – с. 9-14.

32. Панченко А. Н. Теория измельчения почв почвообрабатывающими орудиями. / Панченко А. Н. Днепропетровск, 1999., 140 с.

33. Примак І. Д., Механічний обробіток ґрунту в землеробстві / І. Д. Примака, Рошко В. Г., Гудзь В. П та інші – Біла Церква: Білоцерківський ДАУ, 2002. – 320 с.

34. Протокол испытаний №03-76-00 (1010282) / Костылев А.Б. - Владимирская государственная зональная машиноиспытательная станция. Протокол от 30.11.2000.г

35. Стародинский Д. З., Агрегатирование тракторов с сельскохозяйственными машинами / Стародинский Д. З., Щупак П. Л., – М.: Машиностроение, 1973, 144 с.

36. Танчик С. П., No-till і не тільки. Сучасні системи землеробства /Танчик С. П., К.: ТОВ «Юнівест Медіа»., 2009, 160с.

37. Технічна характеристика [електронний ресурс]: режим доступу: <http://www.falc.eu/ru/prodotti/vangatrici/panda.php> - Назва з домашньої сторінки Інтернету.

38. Ткачук К. Н. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та О-75 перероблене. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Запарний, Д. В. Зеркалов, Р. В. Сабарно, О. І. Полукаров, В. С. Коз'яков, Л. О. Мітюк. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. — К.: Основа, 2006-448 с.

39. Улексин В. О. Обробіток ґрунту у мостовому землеробстві / В. О. Улексин // Вісник ХНТУСГ. Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні. – Х.: 2005, № 39. – с.163-168.

40. Шевченко Н. Н., Особенности земледелия на мелиоративных землях Полесья Украины./ Шевченко Н. Н., Лыко Д. В., Клименко Н. А. – К.: Наук. думка, 1992. – 176 с.

41. Шикула Н. К., Минимальная обработка черноземов и воспроизводство их плодородия. / Шикула Н. К., Назаренко Г. В. – М.: Агропромиздат, 1990. – 320 с.

42. Шувар І. А. Біологічне землеробство на шляху удосконалення енергетичної системи «ґрунт-добрива-рослина»/ Шувар І. А. // Сільський господар. – 2005. – №7-8. – С. 23-25 .

43. Патент RU № 2263286 Фокин Г. А., Шкрабак В. С., Скорбач В. Ф., Иофинов С. А. Способ определения допустимого расхода топлива при работе тракторного агрегата.

44. Патент UA № 93879 Мітков В. Б., Ігнат'єв Є. І., Мітков Б. В., Мітков В. О. Ґрунтообробний робочий орган. Публікація відомостей про видачу патенту: 27.10.2014, Бюл. № 20.



# **Додатки**