

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему

**Удосконалення технології вирощування овочів
шляхом впровадження мостового землеробства**

Виконав: студент 2 курсу, групи МГМ-1-20

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Бутенко Олександр Сергійович

Керівник: _____ Улексін Василь Олексійович

Рецензент: _____

Дніпро 2021

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри
тракторів і сільськогосподарських машин

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«_____» _____ 2021 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Бутенко Олександр Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення технології вирощування овочів шляхом впровадження мостового землеробства

керівник роботи Улексін Василь Олексійович к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
«17» листопада 2021 року № 3539

2. Строк подання студентом роботи 9.12.2021 р.

3. Вихідні дані до роботи Огляд стану питання в галузі машин точного землеробства. Аналіз останніх досліджень, винаходів, літературних джерел за обраною тематикою.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання. Мета і завдання досліджень. 2. Теоретичні дослідження. 3. Експериментальні дослідження. 4 . Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 5. Економічна ефективність роботи. Висновки. Список використаних джерел

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета та задачі досліджень. 2, 3. Аналіз шляхів вирішення проблеми ущільнення ґрунту рушіями. 4. Координатно-транспортна система 5, 6. Обґрунтування конструкції мостової машини. 7, 8, 9. Теоретичні дослідження. 10. Експериментальна установка 11, 12. Експериментальні дослідження. 13. Економічні показники роботи. 14. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Улексін В.О., доцент		
2	Улексін В.О., доцент		
3	Улексін В.О., доцент		
4	Кравець В.В., доцент		
5	Вініченко І.І, професор		
нормоконтроль	Теслюк Г.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 11.10.2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 17.10.2021 р.	
2	Теоретичний	до 28.10.2021р.	
3	Експериментальний	до 25.11.2021 р.	
4	Охорона праці	до 28.11.2021 р.	
5	Економічний	до 4.12.2021 р.	
6	Демонстраційна частина	до 7.12.2021р.	

Студент

_____ (підпис)

Бутенко О.С.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ Улексін В.О.

РЕФЕРАТ

Бутенко О.С. Удосконалення технології вирощування овочів шляхом впровадження мостового землеробства. / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2021.

Дипломна робота присвячена удосконаленню технології вирощування овочів шляхом впровадження мостового землеробства.

Запропоноване удосконалення технології вирощування овочів дозволить зменшити ущільнення ґрунту, що створюють рушії за тракторної технології та забезпечити автоматизацію виконання основних технологічних процесів.

Використавши напрацювання кафедри тракторів і сільськогосподарських машин проведено теоретичні та польові дослідження. Проведено конструктивно-технологічні розрахунки при впровадженні мостової технології землеробства та встановлено залежності ущільнення ґрунту та врожайності від використання класичної тракторної технології та мостового землеробства.

Розроблено методику розрахунку та проведено дослідження впливу конструктивно-технологічних параметрів на коефіцієнт землевикористання при впровадженні координатно-транспортної системи в мостовому землеробстві на вирощуванні овочів.

Розроблено питання з охорони праці при експлуатації мостової машини. Виконано економічне обґрунтування запропонованого удосконалення.

Ключові слова: мостове землеробство, агроміст, координатно-транспортна система (КТС), колісний рушій, ущільнення ґрунту.

ЗМІСТ

Вступ	8
1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	11
1.1. Аналіз досліджень впливу рушії енергетичних засобів на вирощуванні овочів	11
1.2 Класичні шляхи вирішення проблем ущільнення ґрунту в овочівництві	13
1.3 Альтернативні шляхи вирішення питання зменшення ущільнення ґрунту	16
1.4. Координатно-транспортна система	22
1.5 Висновки	26
1.6 Мета і завдання досліджень	27
2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	28
2.1 Дослідження тягової концепції та вплив її на ущільнення ґрунту	28
2.2 Аналітичне обґрунтування конструктивної схеми мостової машини	33
2.3 Теоретичне визначення опорних реакцій остова від впливу зовнішніх навантажень	38
2.4 Теоретичне обґрунтування параметрів координатно-транспортної системи	45
2.5 Висновки	59
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	60
3.1 Програма експериментальних досліджень	60
3.2 Конструкція експериментальної мостової машини	60
3.3 Експериментальне дослідження механічного впливу на родючий шар ґрунту при застосуванні класичної та мостової технології землеробства	63

3.4	Дослідження ефективних показників координатно-транспортної системи для мостового землеробства на вирощуванні овочів	66
3.5	Висновки	67
4.	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	71
4.1	Вимоги з охорони праці під час експлуатації мостової машини	71
4.1.1	Загальні вимоги безпеки	71
4.1.2	Вимоги безпеки перед початком роботи	71
4.1.3	Вимоги безпеки під час виконання роботи	72
4.1.4	Вимоги безпеки після закінчення роботи	73
4.1.5	Вимоги безпеки праці в аварійних ситуаціях	74
4.2	Розрахунок занулення електрообладнання мостової машини	75
4.3	Висновки	78
5.	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ	79
	Висновки	87
	Загальні висновки	88
	Список використаних джерел	90

ВСТУП

Актуальність роботи.

Поява нових технологій в овочівництві пов'язаних з інтенсифікацією виробництва здійснити, яке можливо шляхом впровадження комплексної механізації на основі поліпшення матеріально-технічної бази, передових досягнень технічного прогресу, а також енерго-ресурсозберігаючих технологій.

В останні роки в галузі сільськогосподарського виробництва овочівництві намітилася тенденція застосування енергонасичених тракторів високої продуктивності, здатним виконувати технологічні процеси з широкозахватних агрегатами і поєднувати виконання декількох технологічних операцій за один прохід по полю. Основну частку таких тракторів мають колісні рушії. Дані трактори мають більший діапазон використання в порівнянні з гусеничними (можуть використовуватися як на польових, так і на транспортних роботах), мають меншу вартість і, відповідно, менші експлуатаційні витрати. Тому колісні трактори в загальній структурі тракторів займають більшу частину близько 93% [1].

Використання енергонасичених тракторів ХТЗ-243К, К-744, ХТЗ-17022, John Deere, CLAAS, Case, забезпечує зростання продуктивності праці, але при цьому відбувається суттєве механічне навантаження на ґрунти, що зумовлює переущільнення ґрунту та послідуєчі операції по його відновленню. Науковцями доведено що втрати врожайності в зоні руху рушії сягають в деяких випадках до 40%.

Вирішити дану проблему можливо усунувши вплив рушії в зоні вирощування сільськогосподарських культур впровадженням альтернативних способів ведення землеробства як приклад мостове землеробство з використанням агромоств або мостових тракторів та розробку координатно-транспортної системи для них.

Мета роботи і задачі досліджень

Мета роботи – удосконалення технології вирощування овочів шляхом впровадження мостового землеробства та розробки координатно-транспортної системи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **задачі досліджень**:

- проаналізувати шляхи вирішення проблем ущільнення ґрунту в овочівництві.

- провести обґрунтування вибору типу мостової машини для вирощування овочів;

- описати рівняння визначення опорних реакцій остова від впливу зовнішніх навантажень на мостову машину;

теоретично обґрунтувати параметри координатно-транспортної системи для мостового землеробства;

- провести удосконалення лабораторної установки мостової машини;

- провести експериментальні дослідження коефіцієнту землевикористання при впровадженні координатно-транспортної системи на вирощуванні овочів;

- провести розрахунок економічної ефективності від впровадження мостового землеробства в овочівництві.

Об'єктом досліджень є координатно-транспортна система для мостового землеробства на вирощуванні овочів

Предметом досліджень є мостова машина для механізації технологічних процесів на вирощуванні овочів.

Методи дослідження. Робота виконана з використанням лабораторного обладнання з застосуванням стандартних методик, відео та фотофіксації з

цифровою обробкою матеріалів досліджень. Теоретичних дослідження ґрунтувалися на положеннях механіки, теорії машин і механізмів, вищої математики. Результати експериментальних польових досліджень оброблено із використанням положень математичного аналізу та моделювання і ПЕОМ.

Наукова новизна роботи:

1. Розроблено методику розрахунку координатно-транспортної системи для мостового землеробства
2. Встановлено залежності габаритних розмірів мостової машини від конфігурації поля та загальної площі.
3. Розроблено методику визначення опорних реакцій остова від впливу зовнішніх навантажень на мостову машину, використання положень якої дозволить провести розрахунки елементів конструкції.

Практичне значення одержаних результатів.

Отримані результати розрахунків та удосконалена конструкція мостової машини мають практичну цінність і можуть бути використані при розробці даного типу машин.

Апробація. За результатами проведеної роботи опубліковано тези в Бутенко О.С. Удосконалення технології вирощування овочів шляхом впровадження мостового землеробства/ в збірнику матеріалів XVII міжнародної науково-практичної конференції, «Перспективні питання світової науки – 2021».: м. Софія, Болгарія.

1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Аналіз досліджень впливу рушії енергетичних засобів на вирощуванні овочів

Сучасні технології вирощування овочевих культур [1] неможливо уявити без використання енергонасичених тракторів, сільськогосподарської техніки, самохідних машин та автомобілів. Технологічні операції при вирощуванні овочевих культур передбачають багаторазові проходи по полю тракторів, ґрунтообробних і посівних агрегатів, комплексів техніки для прибирання та вивезення продукції. Тільки ходові системи тракторів в період передпосівних обробок і сівби покривають слідами від 30 до 80% площі поля (рис.1.1) [2, 3]. Окремі ділянки піддаються 3...9-кратному впливу рушіїв. Широке застосування польової техніки нового покоління, маса якої зросла в кілька разів, призвело до зростання ущільнюючих навантажень на рушії, що зумовило погіршення властивостей і режимів ґрунтів і зниження врожайності на ущільнених ділянках поля як в рік прикладення динамічного навантаження (зниження ефективного родючості), так і в послідуючі (зниження потенційного родючості) за рахунок акумуляції залишкової деформації в орному шарі.



Рисунок 1.1 – Вплив рушіїв на родючий шар ґрунту [4]

На ущільнених ділянках поля зниження врожаю овочевих культур становить від 12 до 19 % при одноразовому ущільненні, 17...28% – при 2...3 – кратному і 24 ... 35% – при 4 ... 5 – кратному впливі (В.А. Русанов, А.І. Пупонін, Н.С. Матюк і ін., 1994) [5].

Встановлювана агротехнічними вимогами допустима величина тиску в шинах колісних тракторів не узгоджується з чинними стандартами і не характеризує повною мірою агротехнічну прохідність сільськогосподарської техніки, обумовлену взаємодією її рушіїв з ґрунтом. Більш достовірним показником оцінки впливу ходових систем мобільної техніки на різні ґрунту є питомий тиск. Допустимі показники питомого тиску повинні бути диференційованими в залежності від виду польових робіт і характеристики оброблюваного ґрунту.

За даними І. С. Рабочева і ін. (1978) [6] допустимі навантаження на ґрунт на ранньо-весняному боронуванні зябу складають 0,3 ... 0,4 кг / см², передпосівної обробки і посіви - 0,5 ... 0,6 кг / см², на літніх і осінніх роботах при вологості 60% - 1,0 ... 1,5 кг / см².

На дерново-підзолистих суглинних ґрунтах північних областей України, підготовлених під посів, граничні питомі тиску, що не викликають шкідливого ущільнення, становлять: при вологості 25 ... 30% - 0,75 кг / см², при вологості 17 ... 20 % - 1,25 кг / см² і на сухому ґрунті (вологість 8 ... 12%) - 1,5 кг / см².

Б. Я. Шнейсер, О. А. Поляков (1976) [5] вважають, що допустимі середні питомі тиски універсально-просапних тракторів при виконанні польових робіт не повинні перевищувати 1,0 кг / см².

У 1986 році був розроблений ГОСТ 26955-86 «Техніка сільськогосподарська мобільна», який регламентує максимальний тиск колісного і гусеничного рушіїв на ґрунт при виконанні польових робіт протягом вегетаційного періоду при різних рівнях обводнення.

1.2 Класичні шляхи вирішення проблем ущільнення ґрунту в овочівництві

Вирішенням питання зниження негативного впливу рушії займаються науковці практично з часу використання енергетичних засобів з коліними рушіями.

Для зменшення питомого тиску на ґрунт та підвищення тягових показників на тракторах тягового класу 1,4 тони з шинами 12R38 застосовуються напівгусеничні рушії (рис.1.2).



Рисунок 1.2 – Застосування напівгусеничного рушія на тракторах 14 кН

Установка напівгусеничного рушія на трактор дозволяє значно збільшити площу контакту опорної поверхні і поліпшити зчеплення ведучих коліс трактора з ґрунтом. Вертикальні навантаження, що діють на задній міст трактора, передаються на ґрунт через ведучі колеса трактора і натяжні колеса напівгусеничного рушія. Крім того, деяку частину вертикального навантаження при нормальному натягу сприймає полотно гусениці, що сприяє зниженню середнього тиску трактора і більш рівномірному розподілу по площі опори.

З напівгусеничним рушієм середній тиск ведучих коліс на ґрунт трактора класу 1,4 тони знижується з 98 до 65 кПа, а максимальне - з 225 до 150 кПа [7].

Флагманська модель трактора «Quadtrac» американської компанії Case [8, 9] заслужено визнана найпотужнішим трактором в світі. Комплектується дизельним двигуном в 692 к.с. Застосування шарнірно-зчленовані рами, забезпечує високу маневреність великогабаритного трактора. Мінімальний радіус розвороту становить близько 5,7 метрів. Застосування гусеничних рушіїв (рис. 1.3) усуває негативний вплив від рушіїв, що спричиняє переущільнення ґрунту, підвищує прохідність і тягово-зчіпних властивості трактора при роботі на вологих і пухких ґрунтах.



Рисунок 1.3 – Застосування гусеничних рушіїв на тракторах Case «Quadtrac»

Не відстають від закордонних фірм і вітчизняні виробники тракторів, так Харківський тракторний завод спільно з Харківським національним технічним університетом ім. П. Василенка та Кременчуцьким колісним заводом провели тритижневі випробування тягових характеристик колісних тракторів ХТЗ-280 з чотирма гусеницями замість коліс (рис.1.4) [10] .

За результатами проведених випробувань було визначено, що використання гусеничного рушія дозволяє знизити питомий тиск на ґрунт в порівнянні з колісним рушієм на 43 %, що дозволяє зменшити механічний вплив

рушіїв на родючий шар ґрунту та збільшити врожайність сільськогосподарських культур.



Рисунок 1.4 – Застосування гусеничних рушіїв на тракторах ХТЗ-280

Таким чином використання додаткових пристроїв встановлюються на колеса і напівгусеничний хід збільшують певною мірою тягово-зчіпні властивості трактора зменшують ущільнення ґрунту, але це призводить до суттєвого ускладнення конструкції трактора, збільшення експлуатаційних витрат, витрат часу на переоснащення трактора. Але найголовнішим недоліком додаткових пристроїв є відсутність їх універсальності, в результаті чого вони можуть використовуватися тільки в певних умовах.

Ще один напрямок зменшення ущільнення ґрунту являється встановлення здвоєних а інколи і зтроєних шин.

Промисловістю випускаються різні варіанти пристроїв для здвоювання коліс, різних тракторів. Канадська фірма Buhler Versatile розробила конструкцію здвоєних коліс (рис 1.5) [11], в якій на одному диску зроблено місця для встановлення двох шин.



Рисунок 1.5 – Трактор Buhler Versatile з здвоєними шинами

В результаті поліпшення тягово-зчіпних властивостей трактора на здвоєних колесах його продуктивність збільшується на 4-8% в залежності від виду виконуваних робіт.,

Розглянуті способи вирішують питання ущільнення ґрунту лише частково, що пов'язано з обмеженістю самої тягової концепції. Для переміщення знаряддя необхідно створити колію, щоб потім реалізувати відштовхування від поверхні з метою переміщення з послідуочим розущільненням колії.

1.3 Альтернативні шляхи вирішення питання зменшення ущільнення ґрунту

Одним із недоліків тягової концепції (рис. 1.6) вирощування сільськогосподарських культур – це вплив рушіїв тягача на верхню родючу частину ґрунту, підчас переміщення машини по полю, не продуктивні витрати пального пов'язані з ущільненням ґрунту рушіями тягача і послідуочим

розущільненням ґрунтообробним знаряддям.

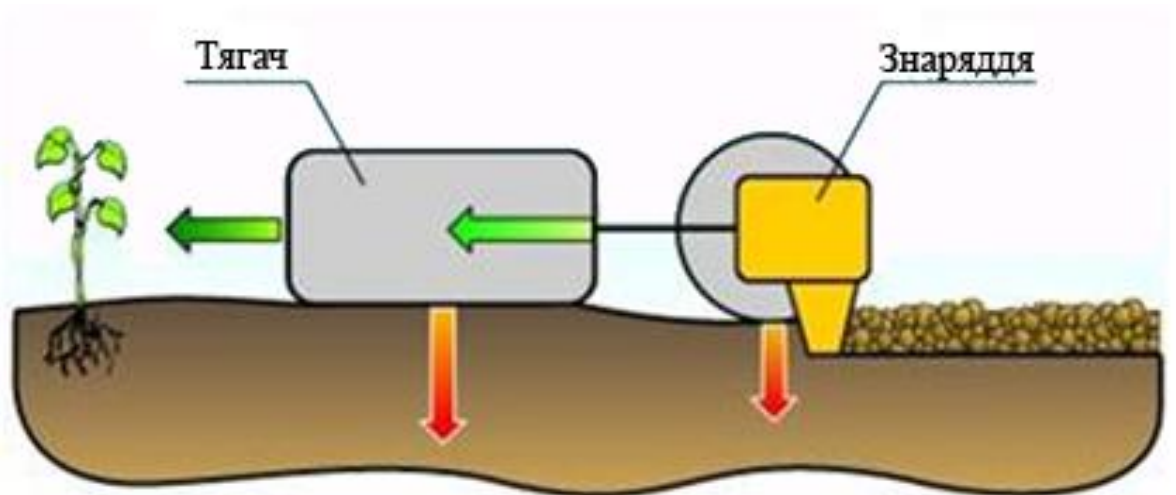


Рисунок 1.6 – Класична концепція обробітку ґрунту [12]

За останні сто років дана концепція землеробства практично не зазнала суттєвих змін і на даному етапі свого розвитку прийшли до фази насичення і вичерпали можливості подальшого удосконалення. З'являється все більше проблем екологічного, енергетичного та соціального характеру пов'язаних з впровадженням прогресивних технологій в галузі рослинництва. Зростання механічних та агрохімічних чинників призводить до глобально погіршення здорового стану ґрунтів.

В зв'язку з цим наприкінці 20 століття з'являється новий напрямок в вирощуванні сільськогосподарської продукції – точне (персоніфіковане) землеробство, концепція якого пов'язана з суттєвим зменшенням використанням хімічних засобів в процесі виробництва сільськогосподарської продукції та зменшення механічного навантаження на ґрунти рушіями.

Одним із альтернативних вирішень питання усунення негативного впливу, що створюють рушії являється впровадження мостового землеробства.

Мостове землеробство являється системою, що використовує для механізації технологічних процесів мостові машини, які доставляють робочі органи до будь-якої точки на полі не пошкоджуючи рослини і ґрунт [13-15].

Ідея мостового землеробства запатентована ще в 30 роки минулого століття в епоху загальної індустріалізації. Актуальність даної технології полягає в усуненні ущільнення ґрунту рушіями, можливістю автоматизації рослинництва шляхом електрифікації. В радянські часи розробкою мостових систем займалися В.П. Бондаренко (ВНІИВіВ «Магарач»), А.К. Дідебулідзе (Грузинський СГІ), В.Т. Змієвський (СКФ ВІМ), Г.А. Мікаелян, М.І. Хабрат. З розпадом СРСР за відсутності фінансування розробки проектів було припинено. В Україні мостовому землеробству присвячені роботи Улексіна В.О., Надикто В.Т., Кувачова В.П., Бойко В.Б. та ін.

Відомі також закордонні роботи в даному напрямку. В 1975 році Д. Доулер (Англія) створив фронтальний мостовий агрегат (рис. 1.7) з шириною прольоту 12 метрів та двома керованими колесами для роботи в колійній системі землеробства [17].



Рисунок 1.7 – Вигляд поля з постійними коліями та мостовий агрегат Доулера

Дослідження проведені в Австралії, Нідерландах і Великобританії з мостовим агрегатом Доулера, який рухається по технологічним коліям, показали, що вартість вирощування овочевих культур знижується на 40 %, економія енергії при обробці ґрунту досягає 55%, значно покращується якість обробки та відновлюється структура ґрунту.

Довжина прогінної частини мостового трактора може бути від 3 до 21 м ці

параметри являються оптимальними і обумовлені особливостями вирощування культур, матеріалоемністю та вартістю машини (рис. 1.8) [18].



Рисунок 1.8 – Оптимальна довжина прогінної частини мостового трактора

В Ізраїлі з 1996 року експлуатується мостовий трактор (рис. 1.9) з шириною прогінної частини 5,8 метра та висотою прогінної частини 1,8 метра з чотирма ведучими колесами [12].



Рисунок 1.9 – Мостовий трактор з шириною прольоту 5,8 метра

В Швеції розробкою мостових тракторів займається компанія «ТЕС» і «Biovelop АВ». Це трактори з чотирма ведучими керуючими колесами (рис. 1.10) призначені для точного землеробства з переміщенням по технологічним коліям і системою глобального позиціонування GPS [12].



Рис. 1.10. Шведський мостовий трактор BIOTRAC

На особливу увагу заслугоує конструкцію 3 метрової мостової машини розробленої науковцями Таврійського державного агротехнологічного університету (рис. 1.11), [17]. Сумарна потужність приводу коліс складає 3 кВт і забезпечує разом з трансмісією тягове зусилля в 6 кН. Мостова машина виконує повний комплекс операцій по вирощуванню овочів в закритому ґрунті.



Рисунок 1.11 – Ширококоліїний мостовий засіб ТДАТУ

1 - силова ферма; 2,3 – платформами; 4 – кронштейни; 5 – колеса; 6 – моторредуктори; 7 – синхронні механізми приводу переднього і заднього коліс; 8 – блок-шафа; 9 – силові домкрати; 10 – гідробак, 11 – електричний двигун; 12 – привод гідронасосу; 13 –гідророзподільник; 14 – гідравлічний навісний механізм

В Словаччині інженер Д. Слінські механізував вирощування овочів за допомогою мостового агрегата кругової дії «AGROKRUN» [11].

При застосуванні технології «AGROKRUN» (рис. 1.12) на площі 2 гектари розміщується 15 ділянок, які обслуговує 5 мостових модулів. Як пояснює автор, система розроблена для реалізації принципів органічного землеробства. За рахунок використання електроприводу операції посіву та догляду за рослинами виконуються в автоматичному режимі з орієнтацією робочих органів відносно ферми агронома, що дало можливість відмовитися від вартісного навігаційного обладнання. Не використана площа, а це близько 16 %, засівається рослинами, які відлякують шкідників.

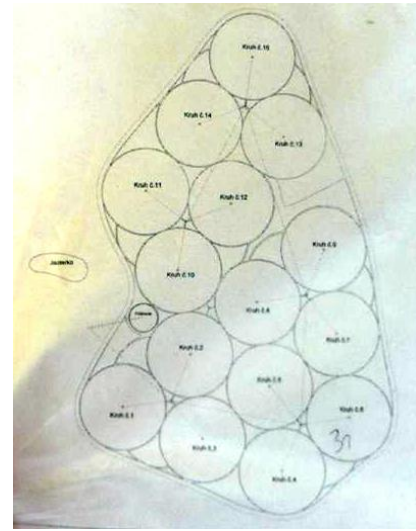


Рисунок 1.12. Загальний вигляд агромоста «AGROKRUN» та планування поля [11]

В даний над впровадженніям мостової технології та розробкою мостової машини працюють і науковці Дніпровського державного аграрно-економічного університету [14-17] (рис 1.13), але для вирішення даної проблеми необхідний комплексний підхід науковців: агрономів, інженерів, програмістів, електронщиків. Тільки такий підхід до вирішення даного питання надасть можливість реалізувати мостове землеробство.



Рис. 1.13. Дослідна установка мостового модуля 2007 рік

Найбільший ефект використання мостового землеробства спостерігається на вирощуванні овочів. З метою підвищення ефективності вирощання овочів в даній науковій роботі буде удосконалено дослідну установку мостового модуля та вирішено питання реалізації висіву насіння овочевих культур в задані точки полі.

1.4. Координатно-транспортна система

Робота електрифікованої мостової машини з кабельним живленням передбачає певний порядок її руху в межах поля, яке повинно розбиватися на загінки і обладнуватися координатно-транспортною системою (рис. 1.14).

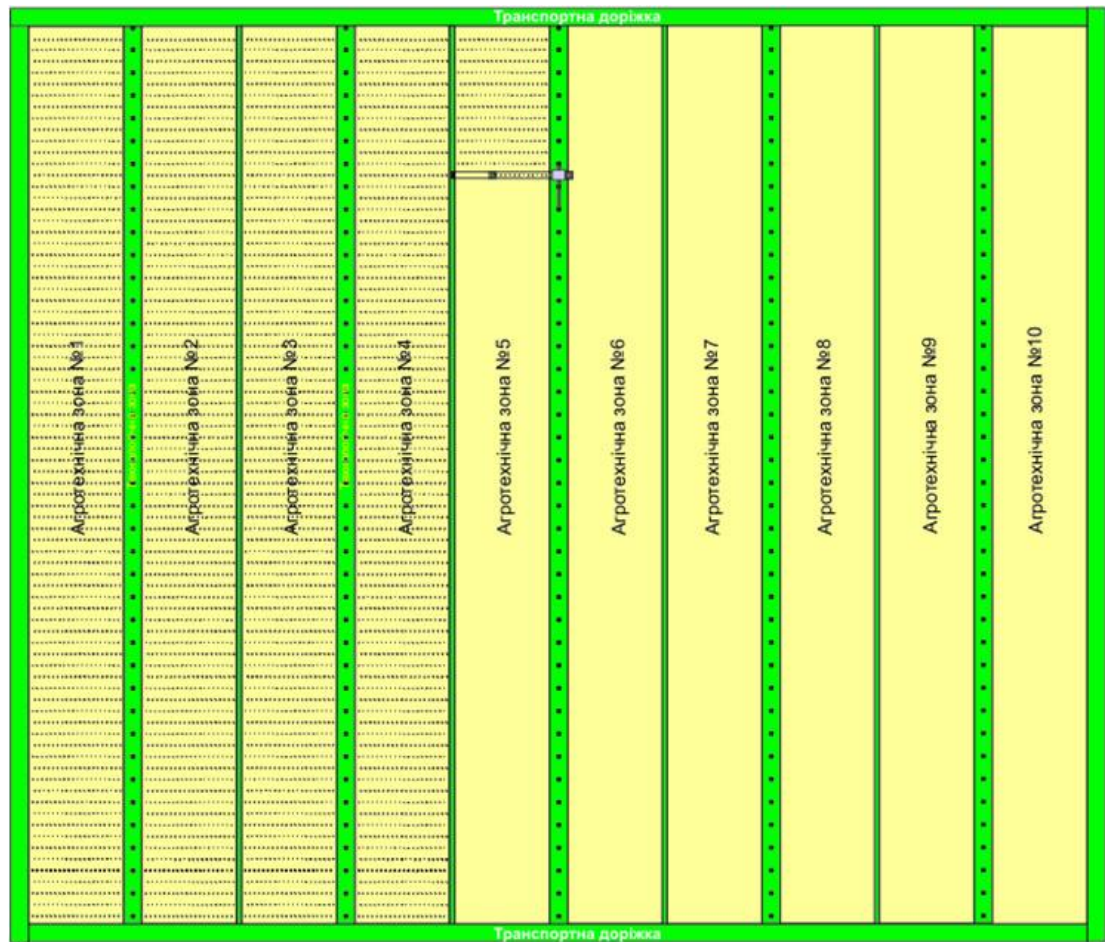


Рисунок 1.14 – Координатно-транспортна система.

Уздовж ферми по нижніх стрижнях-напрямних може переміщатися встановлена на роликах каретка технологічного модуля, яка несе робочі органи і приводиться у рух за допомогою електролебідки та сталюого каната. Таким чином, робочі органи доставляються в будь-яку точку поверхні поля двома рухами: рухом технологічного модуля уздовж ферми, і переміщенням усього агромота уздовж загінки. Відсутні недоступні для обробітку площі, властиві згаданій вище технології «AGROKRUN».

Координатно-транспортна система дозволяє з високою точністю контролювати положення агромота і координати робочих органів (X_{p0}, Y_{p0}) відносно поверхні поля. Для цього достатньо враховувати положення агромота на поточній загінці (X_3) і на поточній опорі у межах загінки (Y_3), які задаються з високою точністю як характеристика координатно-транспортної системи, та

положення технологічного модуля – відстань осі ферми агромошта відносно поточної опори (Y'_3) і відстань технологічного модуля відносно осі опор (X'_3):

$$X_{po,} = X_3 + X'_3 \quad \text{та} \quad Y_{po,} = Y_3 + Y'_3.$$

Аналізуючи досвід наукових досліджень мостових машин можливо виділити основні положення і правила функціонування мостової системи землеробства [16-18];

1. Перший принцип, який спрощує координацію мостової машини, є поділ поля на агротехнічну та технологічну (інженерну) зону. Переміщення мостової машини і машин обслуговування та підтримання технологічного процесу вирощування овочевих культур здійснюється в межах технологічної зони. В агротехнічній зоні переміщуються лише робочі органи, які виконують операції з посіву, обробітку ґрунту, та догляду за рослинами та збирання врожаю.

2. Раціональним для мостового землеробства, являються наступні положення :

- технологічні операції повинні виконуватися за координатним принципом за умови використання координатно-транспортної системи;
- рушіїв повинні переміщуватися по твердій поверхні;
- виконання технологічних процесів повинно здійснюватися в автоматичному режимі.

3. Застосування мостових технологій розширює агротехнічні можливості і дозволяє:

- впровадити точне (координатне) рослинництво,
- реально автоматизувати роботу машин;
- в повному обсязі реалізувати персоніфіковане землеробство, зокрема оптимізувати механічний вплив на ґрунт, виконувати посів за координатним принципом, мінімізувати енерговитрати при догляді за рослинами, покращити результати боротьби з бур'янами, вести індивідуальний контроль вегетації рослин;
- строго витримувати терміни проведення польових робіт;

- застосувати вирощування на одному полі декількох культур, тобто створити нові продуктивні агрофітоценози.

При впровадженні мостової системи поле поділяється на агротехнічну і інженерну зони. Агротехнічна зона утворена загінками по ширині захвату агромоста, на яких здійснюється вирощування рослин. На площі інженерної зони облаштовується координатно-транспортна система (КТС). Це система забезпечує переміщення агромоста та обслуговуючих транспортних засобів у взаємно перпендикулярних напрямках. Для агромоста доцільно застосовувати крокуючо-рейковий рушій [16], який здійснює рух по змонтованим на полі опорам та забезпечує роботу важкої машини з мінімальними втратами незалежно від погодних умов.

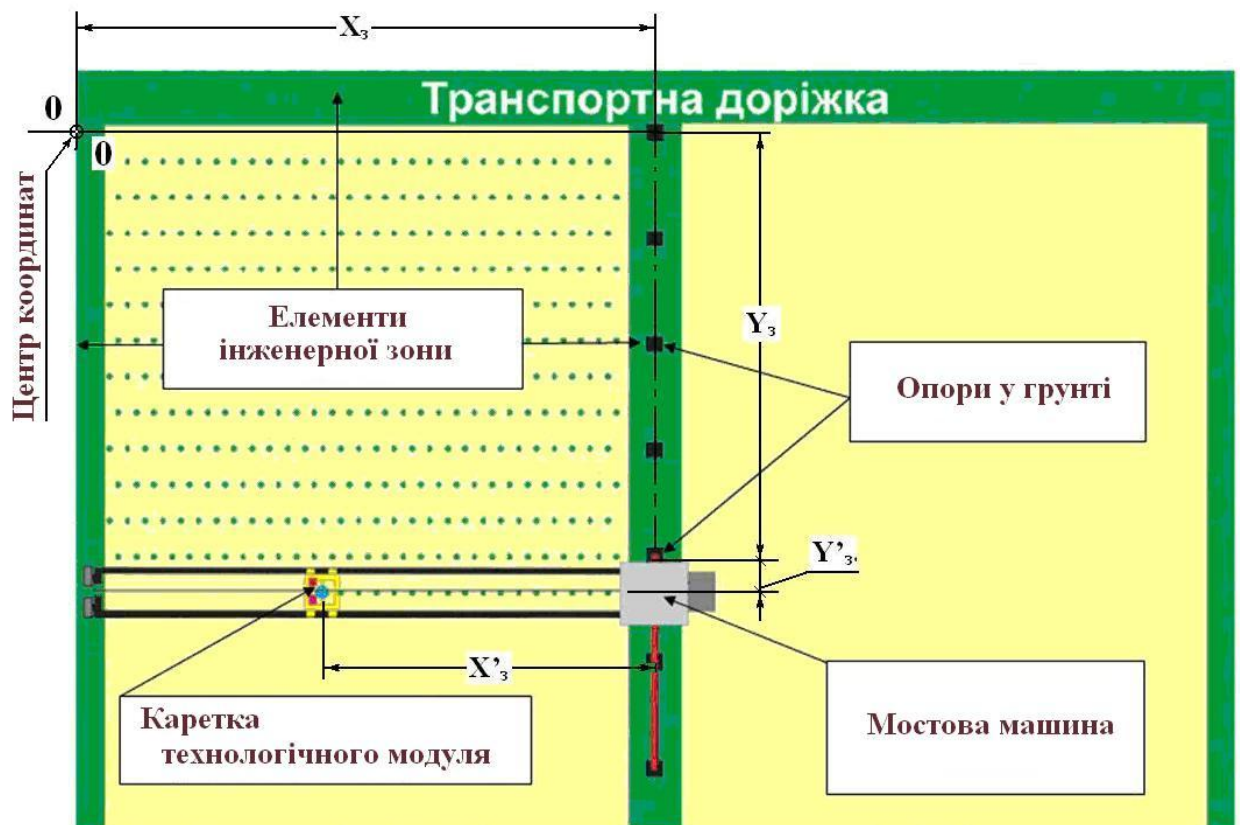


Рисунок 1.15 – Координатний висів насіння за допомогою мостової машини

Жорстка просторова прив'язка мостової машини відносно опор дозволяє розташувати рослини на полі в заздалегідь визначеному порядку (за координатною сіткою), що підвищує ефективність здійснення операцій всього циклу вирощування рослин. На рис 1.5 представлено схему точного (координатного) висіву насіння за допомогою мостової машини.

1.5 Висновки

1. Використання енергонасичених тракторів збільшує механічний вплив на родючий шар ґрунтів, що зумовлює ризики утворення вітрової ерозії та переущільнення ґрунтів та додаткові витрати на розущільнення останніх.

2. Найбільш поширеними пособами зменшення ущільнення ґрунтів являється застосування гусеничного рушія і здвоєних та зтроєних шин, що частково вирішує питання з ущільненням, але підвищує показники утворення дрібних часток в результаті механічного впливу на ґрунт та утворення вітрової ерозії в посушливих регіонах України

3. Основним способом усунення негативного впливу рушіїв на ґрунт, являється застосування альтернативного мостового землеробства де рушії рухаються по твердій поверхні або напрямним стовпчикам інженерної зони.

4. Використання координатно-транспортної системи в мостовому землеробстві дозволить спростити орієнтування мостової машини в просторі.

5. Використання електроприводів в мостовій машині дозволить реалізувати автоматизацію технологічних процесів вирощування овочів.

6. Врахувавши попередні напрацювання науковців по даній тематиці буде проведено удосконалення лабораторної установки мостової машини та проведено порівняльні дослідження ущільнення ґрунту з використанням мостової технології та класичної тракторної технології на вирощуванні овочів.

1.6 Мета і завдання досліджень

Мета роботи – удосконалення технології вирощування овочів шляхом впровадження мостового землеробства та розробки координатно-транспортної системи.

Для досягнення поставленої мети було висунуто наукову гіпотезу, згідно з якою зменшення ущільнення ґрунту при впровадженні мостового землеробства підвищить врожайність овочевих культур та удосконалисть технологію вирощування за рахунок розробки координатно-транспортної системи .

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішення наступних задач:

- проаналізувати шляхи вирішення проблем ущільнення ґрунту в овочівництві.
- провести обґрунтування вибору типу мостової машини для вирощування овочів;
- описати рівняння визначення опорних реакцій остова від впливу зовнішніх навантажень на мостову машину;
теоретично обґрунтувати параметри координатно-транспортної системи для мостового землеробства;
- провести удосконалення лабораторної установки мостової машини;
- провести експериментальні дослідження коефіцієнту землевикористання при впровадженні координатно-транспортної системи на вирощуванні овочів;
- провести розрахунок економічної ефективності від впровадження мостового землеробства в овочівництві.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Дослідження тягової концепції та вплив її на ущільнення ґрунту

Принцип роботи сучасної ґрунтообробної техніки ґрунтується на тяговій концепції: різання, переміщення та подрібнення пласта виконується за допомогою поступального руху машини (рис.2.1).

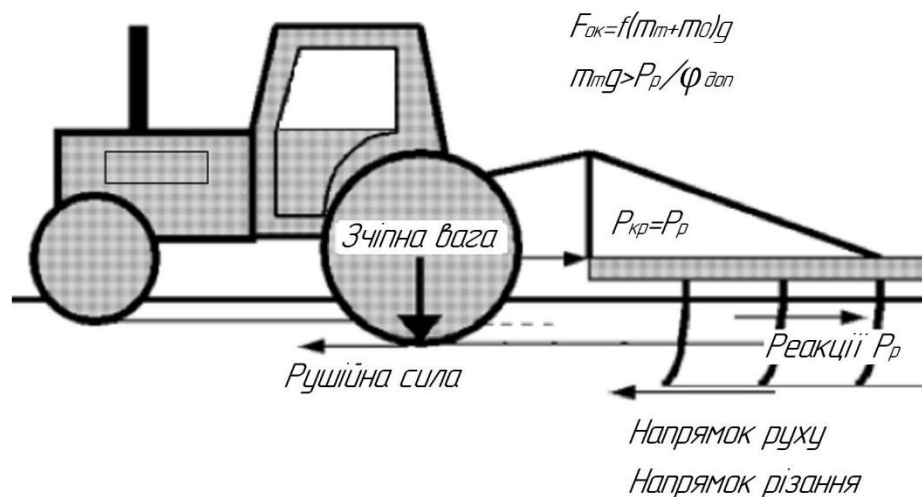


Рисунок 2.1 – Тягова концепція землеробства

Передача потужності від енергетичного засобу до робочих органів реалізована через тягове зусилля на гаку $P_{кр}$, для його реалізації тягова машина опираючись на ґрунт рушіями відштовхується від нього:

$$P_{кр} = \varphi_{доп} \cdot G_{зч} = \varphi_{доп} \cdot \lambda \cdot m_m \cdot g, H \quad (2.1)$$

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

$G_{зч}$ - зчіпна вага трактора, Н;

λ - коефіцієнт навантаження провідних органів;

m_m – маса трактору, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Максимальне значення коефіцієнта зчеплення $\varphi_{доп}$ для різних ґрунтів знаходиться в межах 0,55...0,85. Коефіцієнт навантаження ведучих органів λ найбільший для повнопривідних та гусеничних машин ($\lambda = 1$), для колісних тракторів 4x2 не перевищує значення 0,7 за умови збереження керованості. Отже, чим більше тягове зусилля необхідно створити, тим більшою має бути зчїпна вага $G_{зч}$, а значить і маса тягової машини, в крайньому випадку, не менша, ніж:

$$m_m \geq P_{кр} \cdot \varphi_{доп} \cdot \lambda \cdot g. \quad (2.2)$$

Вага тягової машини у будь-якому разі повинна бути більшою за тягове зусилля [20, 21]. При цьому ґрунтообробний агрегат діє на ґрунт із сумарною силою S_a :

$$S_a = (m_m + m_o) \cdot g, H \quad (2.3)$$

де m_o - маса агреатованого з трактором ґрунтообробної знаряддя, кг.

Переміщення тягового енергетичного засобу поверхні поля вимагає суттєвих витрат енергії, яка витрачатиметься на формування колій та пробуксовування ведучих органів, тобто на ущільнення та руйнацію шару ґрунту. Втрати на кочення машини визначаються силою опору коченню $F_{ок}$:

$$F_{ок} = f \cdot m_m \cdot g, \quad (2.4)$$

де f – коефіцієнт опору коченню, значення якого коливається від 0,08 для перелігу до 0,2 для поля підготовленого під посів.

Мінімальна витрата енергії забезпечуються при коченні твердого колеса по твердій поверхні.

Втрати на буксування виражаються у зменшенні дійсної швидкості руху V_{δ} відносно теоретичного значення швидкості руху V_m на величину відносного буксування δ :

$$\delta = (V_m - V_{\delta}) / V_m = 1 - V_{\delta} / V_m. \quad (2.5)$$

Тяговий ККД трактора η_m визначається як:

$$\eta_m = \eta_{mp} (1 - \delta) / (1 + f / \lambda \cdot \varphi_{дон}) \quad (2.6)$$

Відносне буксування при номінальному тяговому зусиллі не повинно перевищувати 0,06 для гусеничних і 0,15 для колісних тракторів; ККД трансмісії η_{mp} , сучасних тракторів становить 0,88...0,92.

Аналізуючи формулу (2.6) з урахуванням можливих значень коефіцієнтів, що до неї входять, знаходимо, що розрахунковий тяговий ККД сучасного трактора не може перевищувати значення 0,8 і знаходиться в межах 0,53 ... 0,79. Це і тяговими характеристиками. Наприклад, за теоретичними та експериментальними даними, отриманими при дослідженнях впливу потужності двигуна на швидкість руху МТА [22], побудовані потенційні тягові характеристики трактора Т-25 з потужністю двигуна N_e 18,9 кВт(рис. 2.2).

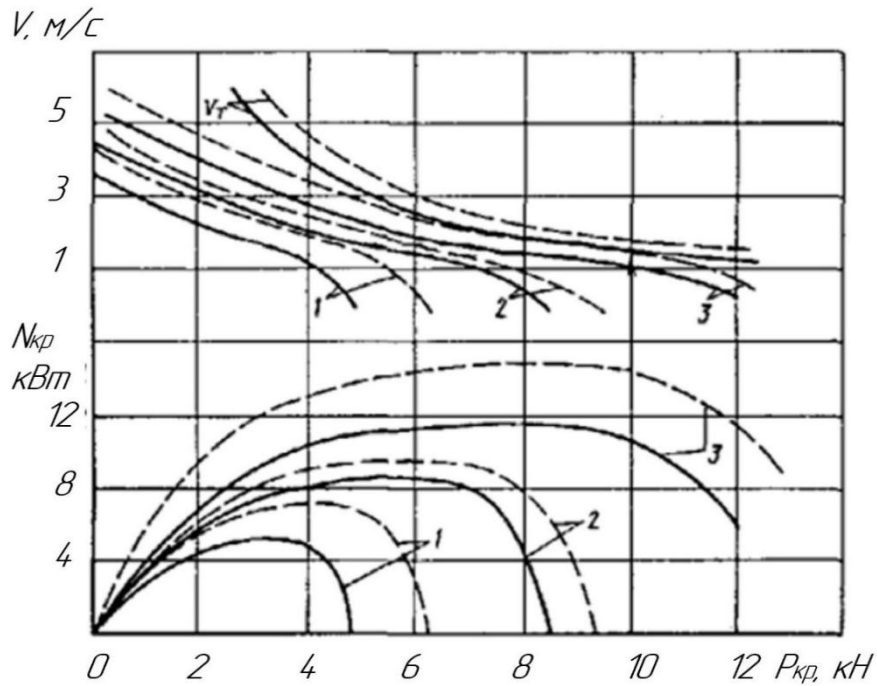


Рисунок 2.2. Потенційна тягова характеристика трактора Т-25

----- експериментальні дослідження; - - - теоретичні дослідження

1 – агрофон (поле під посів); 2 – стерня; 3 – асфальтоване шосе

З отриманих залежностей видно, що при русі по стерні на гаку реалізується лише половина потужності двигуна, а під час роботи на полі, підготовленому під посів – близько третини.

Проведений аналіз потенційної тягової характеристики тракторів сільськогосподарського призначення отриманий на різних агрофонах, свідчить про значну витрату енергії енергетичної установки трактора на переміщення, тобто формування колії та відштовхування трактора.

До основних втрат на переміщення відносяться втрати в трансмісії (постійна складова), втрати на буксування та на перекочування ходових рушіїв.

Тверда поверхня забезпечує мінімальні втрати пов'язані з переміщенням енергетичного засобу.

В таблиці 2.1 та 2.2 наведено порівняльні дані витрати палива в залежності від потужності на гаку $N_{кр}$ та опорної поверхні.

Таблиця 2.1 – Питома витрата пального

Марка трактора	Питома витрата палива ДВЗ, г/(к.с.год)	Питома витрата палива, на гаку г/(к.с.год)		
		Дорога	Поле під посів	Стерня
Т-25А	185	200...218	300...319	265...274
Т-40А + баласт	197	210...218 210...218	325...358 330...369	270...319 265...294
ЮМЗ-6 + баласт	186	220...348 225...337	330...495 330...468	- -
МТЗ-80 + баласт	191	215...244 -	375...470 350...416	325...342 305...346
Т-150К + баласт	191	205...245 215...255	285...350 275...300	285...295 260...300
К-700 + баласт	175	240...265 240...330	310...360 240...375	325...340 -
Т-74	195	255...285	300...310	260...325
ДТ-75М	188	245...265	290...370	270...295
Т-150	186	-	-	235...275

Таблиця 2.2 - Порівняння витрати палива на самопересування тракторів у різних умовах

Трактор	Витрата палива на самопересування твердою дорогою, % від номінальної витрати двигуна	Збільшення витрати на самопересування, % по відношенню до витрати під час руху твердою дорогою і по:	
		полю під посів	стерні
Т-25А	12.6	31.3	22.8
ЮМЗ-6 + баласт	21.5 19.65	37.2 41.2	--
МТЗ-80 + баласт	16.4 16.4	42.3 34.2	31.3 29.2
МТЗ-82	21.6	32.2	21.9
Т-150К + баласт	16.2 18.4	27.6 14.2	21.2 15.3
К-700	31.4	24.2	22.2
ДТ 75М	26.4	18.4	12.5

T-4A	29.2	12.4	4.7
------	------	------	-----

За результатами порівняння отриманих даних на основі табл. 2.1 та таблиці 2.2 приведемо в відсотках порівняння енерговитрат при переміщенні на різних агрофонах .

Згідно з отриманими даними витрата енергії на перекочування колісного трактора і буксування його рушіїв становить на стерні від 15 до 32%, при переміщенню по полю підготовленому під посів. 19...43%.

Для тракторів з гусеничним рушієм цей показник становить, на стерні від 2 до 12 %, на полі підготовленому під посів від 11 до 18%.

Порівнюючи отримані показники трактори з гусеничним рушієм мають деякі переваги за рахунок меншого тиску на ґрунт та буксування, однак додаткові втрати в самій ходовій частині гусеничного рушія перевищують в 1,4...1,9 разів втрати колісної ходової частини.

Поліпшення тягово-зчіпних якостей колісних тракторів баластуванням, регулюванням тиску в шинах та іншими способами дає скромні результати економії палива – не більше 3...6% [23]. При цьому, як правило, погіршуються екологічні показники МТА (наприклад, при баластуванні трактора збільшується *ущільнення ґрунту*), у деяких випадках значно ускладнюється керування роботою агрегату (так, при використанні здвоєних шин, застосування вставок подовжувачів або напівгусеничного ходу погіршується кінематика розворотів).

Якщо на початковому етапі розвитку тракторобудування проявлявся оптимізм до можливості поліпшення тягового ККД тракторів, то останнім часом, незважаючи на продовження вдосконалення процесів взаємодії рушія з ґрунтом, стає очевидною неможливість його практичного збільшення. Аналізуючи дослідження науковців та напрацювання провідних фірм з розробки енергетичних засобів для сільського господарства за всю історію розвитку тяговий ККД майже не збільшився і знаходиться в межах $\eta_m = 0,53 \dots 0,79$.

Спираючись на проведені теоретичні та експериментальні дослідження, можна стверджувати, що сучасний ґрунтообробний агрегат не менше ніж четверту частину споживаного та перетвореного на механічну енергію палива (кожні 25 л зі 100) витрачає на ущільнення та руйнування ґрунту.

Кардинальне вирішення збільшення тягового ККД та виключення негативного впливу рушіїв буде розглянуто в наступному пункті роботи.

2.2 Аналітичне обґрунтування конструктивної схеми мостової машини

При проектуванні мостових машин необхідно виключити недоліки, які притаманні тяговій концепції. Більшість цих недоліків будуть притаманні і мостовій машині з фронтальним рухом робочих органів, який рекомендовано до впровадження авторитетними авторами [24] (Рис. 2.3). Порівняно мало енергоємні операції зрошення дощуванням, застосування різноманітних хімпрепаратів, механізацію збирання урожаю доцільно здійснювати саме фронтальним способом. Але при фронтальному обробітку ґрунту очевидними є непомірний ріст тягового опору і маси агромоста, зниження надійності конструкції в цілому, складність пристроїв для копіювання рельєфу поля робочими органами та їх налагоджування, низький коефіцієнт використання машини при великій її одиничній потужності, складність переустаткування на різні операції, погіршена кінематика розворотів.

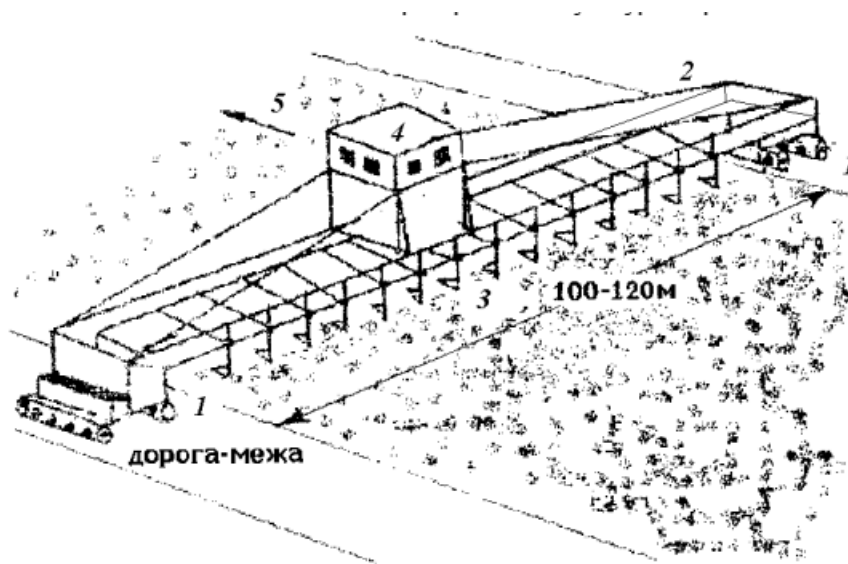


Рисунок 2.3 – Фронтальний спосіб переміщення мостової машини

Правоторова

Тому при виконанні ґрунтообробних операцій для мостової машини «Агромоста» більш ефективним буде застосування **координатно-транспортного принципу руху** ферми мостової машини «агромоста» та поперечного (човникового) руху навісної каретки з робочими органами уздовж ферми агромоста. На рисунку 2.4 представлено різновиди конструктивних рішень руху мостових машин за координатним принципом.

Найбільш проста та очевидна компоновка мостової машини з рухом робочих органів на остові в поперек ділянки поля з двохопорним остовом симетричної мостової машини (рис. 2.4, а) [16]. Машина обладнана двома однаковими рушіями 1 розташованими по краях ферми остова 3. Під час переміщення рушії рухаються по транспортним доріжкам уздовж загінки. На фермі встановлено направляючі по яким рухається каретка 4 з встановленими робочими органами для виконання технологічних операцій овочівництва.

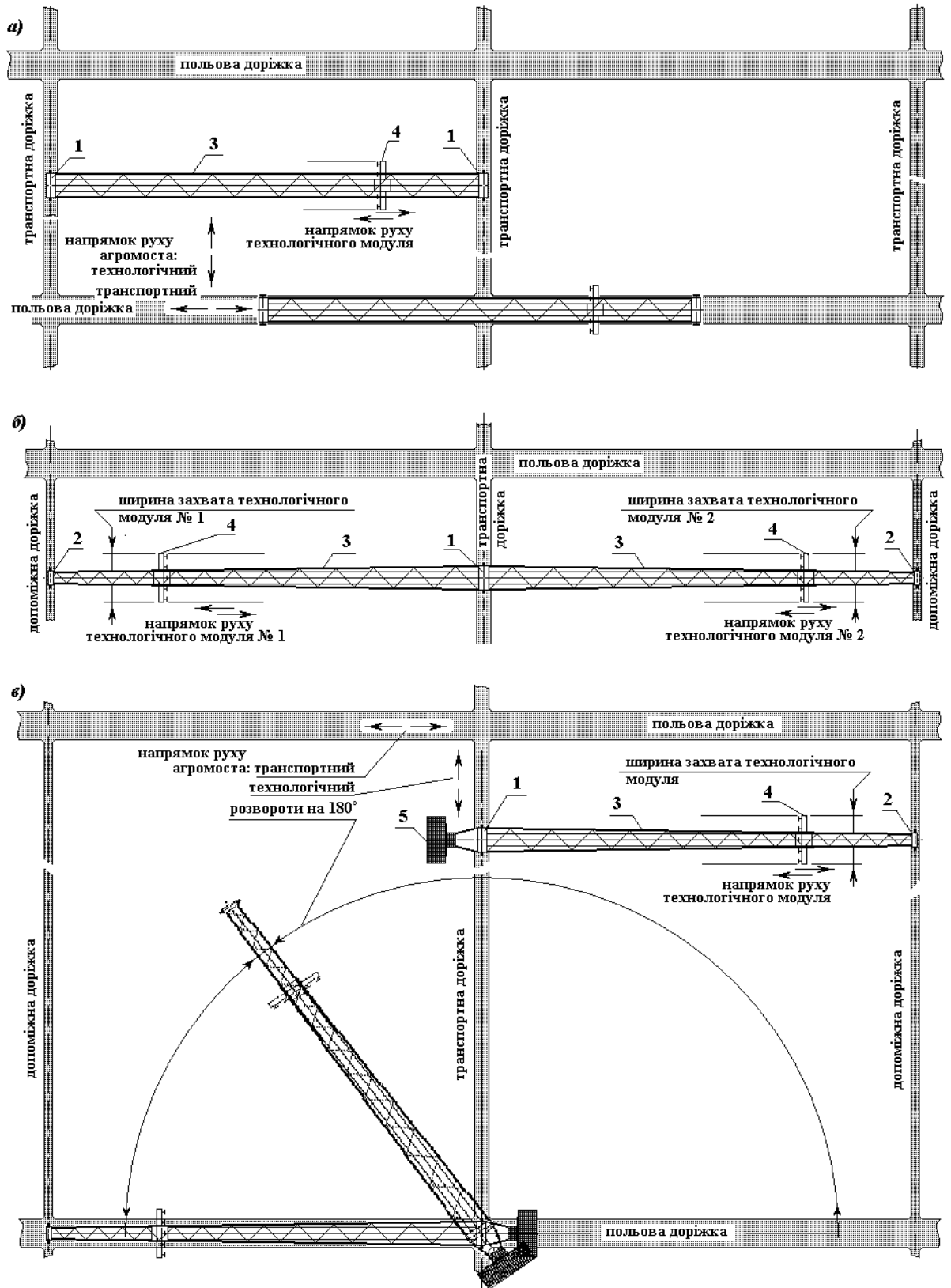


Рисунок 2.4 – Схеми агромостів різних типів та їх переміщення по полю:

а) – двохопорна мостова машина, б) – двохконсольна, в) – одноконсольна;

1 – ходовий апарат (рушій); 2 – підтримуючий візок; 3 – ферма-остов;

4 – каретка; 5 – противага.

Каретка мостової машини переміщується по направляючим ферми. На каретці встановлюються різні робочі органи по догляду, посіву та збирання сільськогосподарських культур. Робота може виконуватися робочими органами одночасно на одному чи декількох рядках чи міжряддях. Виконавши обробіток рядків чи міжряддя мостова машина переїджає по польовим доріжкам на наступні ділянки для вирощування с.г. культур.

Двохопні симетричні мостові машини дозволяють виконувати човниковий та фронтальний обробіток дялянки. Що особливо важливо для вирощування овочів в закритому ґрунті. Основним недоліком даної конструкції являється складність синхронізації переміщення опорно-ходових апаратів.

Компоновка двохконсольної мостової машини вважається більш досконалою (рис. 2.4, б). Принцип такої компоновки остова застосовано на зрошувальних установках як приклад ДДА-100. До основних переваг такої компоновки відноситься ходовий апарат, що забезпечує синхронне переміщення остова мостової машини.

До недоліків можна віднести нестабільні навантаження та реакції між робочими органами та ґрунтом. Використання двох модулів скорочує надійність системи так як відмова одного з рушіїв зупиняє роботу всієї мостової машини. Також залишається проблема з укладанням електрокабеля для такого типу машин.

Одноконсольний агроміст (рис. 2.4, в) це агроміст з однією консолью напруженої конструкції (ферми) з баластом для урівноважування. Зміщення баласту відносно ферми регульоване, що забезпечує врівноваження конструкції при переміщенні каретки з робочим обладнанням по всій довжині напрямних ферми мостової машини.

Дана конструкція мостової машини дозволяє обробляти дві заїмки з однієї технологічної доріжки. Спочатку виконується проход вперед по рядкам заїмки в кінці заїмки здійснюється розворот навколо шарнірної конструкції опорно-ходового апарата виконується робота в зворотному напрямку. Це дозволяє спростити технологічний процес укладання кабелю живлення

мостової машини. Кількість і розташування технологічних доріжок на полі буде відповідати згідно конструктивної схеми двохконсольної мостової машини, польових доріжок може бути у два рази менше (одна з двох показаних на рис. 2.4, в польових доріжок може бути відсутня).

Враховавши переваги та недоліки розглянутих схем перевагу віддамо фермам напружено-просторової конструкції, що мають мінімальну металоємність і за основу приймаємо одноопорну одноконсольну схему мостової машин загальний вигляд якої наведено на (рис. 2.5). Така мостова машина обробляє загінку шириною, рівною довжині ферми, причому, рядки рослин розташовують у здовж загінки.

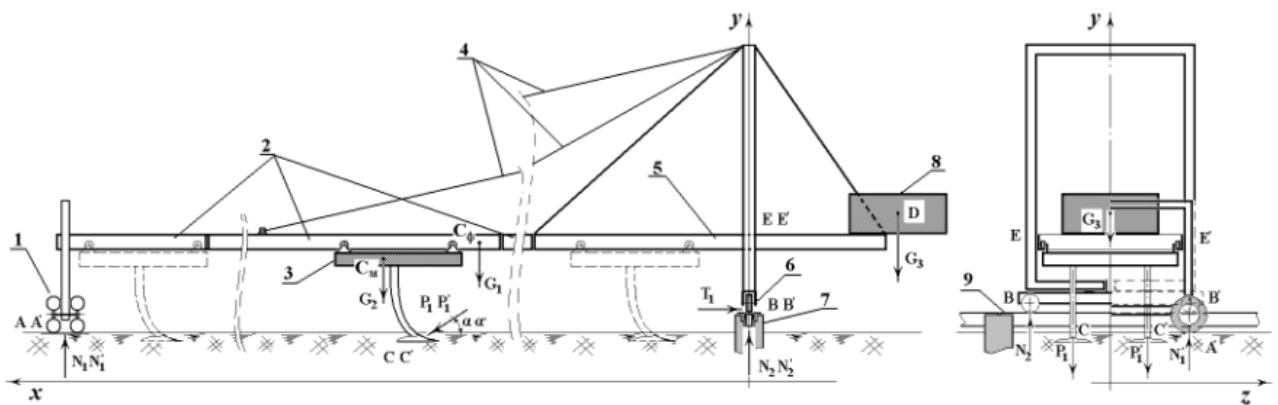


Рисунок 2.5 – Конструктивна схема одноконсольної мостової машини
 1 – підтримуючий візок; 2 – секції несучої ферми; 3 – каретка (візок) технологічного модуля з робочими органами; 4 – розтяжки (ванти);
 5 – основна секція ферми; 6 – ходовий візок; 7 – опора у ґрунті;
 8 – зрівноважуючий баласт; 9 – рейковий шлях

Ферма складається з рами, зібраної з жорстко з'єднаних між собою окремих секцій 2, і системи розтяжок 4 зі стійками. Основна секція 5 рами закріплена на ходовому візку 6, який сприймає основну вагу рами G_1 , навісного обладнання G_2 та зрівноважувального баласту G_3 , а також сили P_1 та P_1' , що діють з боку робочих органів, встановлених на рухомій каретці 3 технологічного модуля. Вільний кінець консолі спирається на підтримуючий

візок 1, що сприймає незначну частину ваги рами G_1 . Зрівноважуючий вантаж 8 розвантажує підтримуючий візок і створює зусилля розтягу у вантах 4.

Транспортний візок 6 має два опорні колеса B і B' , з'єднаних загальною рамкою, яка з'єднується з основною секцією ферми 5 за допомогою шарніра, що допускає поворот рами на візку в горизонтальній площині. Підтримуючий візок 1 обладнано двома колесами A та A' , жорстко з'єднаними з кінцевою секцією рами. Між колесами візків B і B' , A і A' , і опорною поверхнею виникають реакції N_2, N_2' і N_1, N_1' , відповідно. Вага рами розподілена за довжиною, а його рівнодіюча G_1 прикладена у центрі мас рами з координатами $x_{C\phi}, y_{C\phi}$. Центр мас противаги 8, вагою G_3 , розташований у точці D (x_D, y_D). Технологічний модуль прироботі переміщається вздовж направляючих рами, сила його ваги G_2 прикладена до рами в точці C_m із змінними координатами x_{C_m}, y_{C_m} . Робочі органи, встановлені на технологічному модулі, створюють навантаження у вигляді рівнодіючих P_1 і P_1' , прикладених у точках C і C' та спрямованих під деякими кутами α і α' до осі абсцис x . На раму діє розподілена аеродинамічна сила P_w , величина, напрямок і точка прикладення рівнодіючої залежить від сили і напрямку вітру. Визначення цієї сили необхідний при перевірці стійкості конструкції проти перекидання під дією штормового вітру та при підрахунку потужності на пересування у вітряну погоду. Реакції в опорах повинні підраховуватися з врахуванням поперечного і поздовжнього нахилу поверхні поля γ_x і γ_z , відповідно (на рис. 2.5 не показані).

2.3 Теоретичне визначення опорних реакцій остова від впливу зовнішніх навантажень

Згідно приведеної попередньо конструктивної схеми мостової машини побудуємо розрахункову схему (рис. 2.6) зображену у трьох проекціях, з координатами x , y та z . У загальному випадку в розрахунках повинні враховуватися зовнішні сили, що діють на остов [25]:

- сила сумарної ваги рами та стійок основного та допоміжного візків, величиною G_1 , прикладеною вертикально в центрі мас ферми – у точці C_ϕ з координатами x_{C_ϕ} , y_{C_ϕ} та z_{C_ϕ} ;

- сила сумарної ваги технологічного модуля G_2 , прикладена вертикально в точці C_m з координатами x_{C_m} , y_{C_m} та z_{C_m} , причому координата x_{C_m} змінюється при переміщенні каретки вздовж направляючих (вздовж осі x);

- сила ваги вантажу G_3 , прикладена вертикально у точці D з координатами x_D , y_D та z_D , причому координата x_D може змінюватися в процесі роботи;

- сили взаємодії робочих органів із ґрунтом P_1 та P_1' , прикладені у точках C і C' , величина та напрямок дії цих сил змінюються в процесі виконання технологічного процесу у певних межах;

- сили інерції P_{jz1} , P_{jz2} та P_{jz3} , що виникають при розгонах-гальмуваннях агромоста, що діють вздовж осі z та прикладені в центрах мас рами G_1 , обладнання G_2 та баласту G_3 , відповідно;

- сили інерції P_{jx2} і P_{jx3} , що діють вздовж осі x , що виникають при розгонах-гальмуваннях технологічної каретки та баласту агромосту, та прикладені в центрах мас обладнання G_2 та баласту G_3 , відповідно;

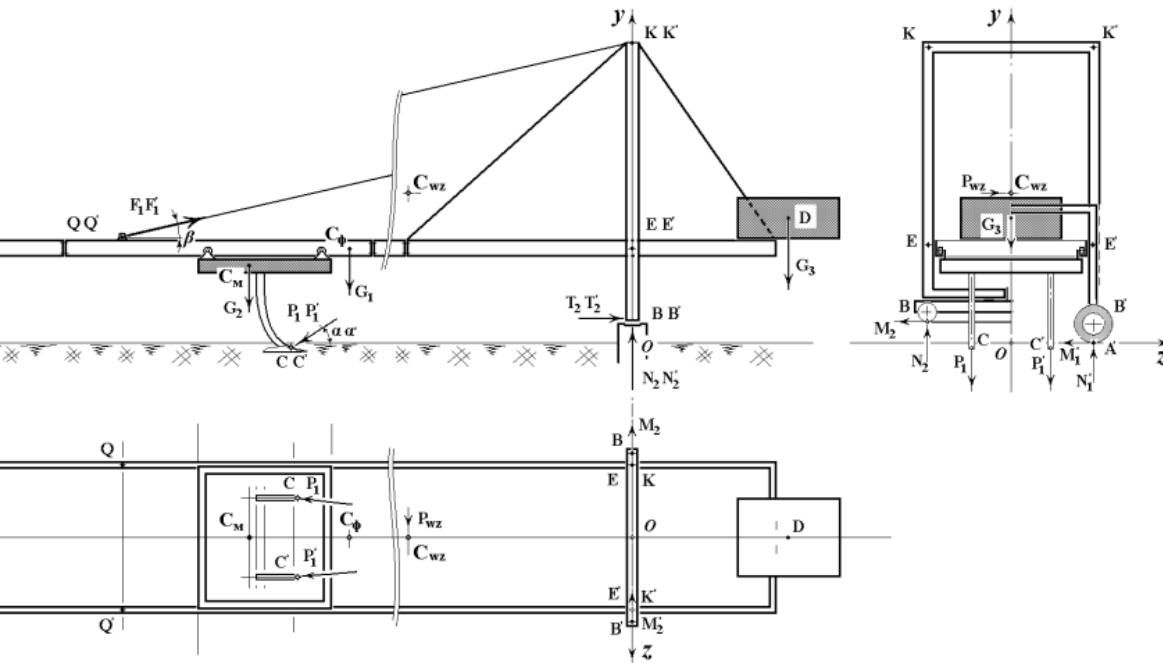


Рисунок 2.6 – Розрахункова схема визначення опорних реакцій остова мостової машини

- сили, що створюються напором вітру $P_{w\beta}$, розподілені між поверхнями окремих елементів агромосту; у розрахунках беремо до уваги тільки результуючу складову P_{wz} , що діє у напрямку осі z та прикладену в центрі парусності C_{wz} з координатами x_{Cw} , y_{Cw} .

Чинні сили викликають появу реакцій у точках взаємодії ферми з опорною поверхнею:

- вертикальні складові реакцій N_1 та N_1' , що діють між опорними колесами підтримуючого візка та ґрунтом, прикладеними в точках A та A' , відповідно;

- вертикальні складові реакцій N_2 та N_2' , що діють між опорними колесами основного візка та рейкою, прикладені в точках B і B' , відповідно;

- поздовжні складові реакцій T_1 і T_1' , T_2 і T_2' , що діють між опорними колесами основного візка і рейкою, прикладені в точках A і A' , B і B' , відповідно;

- поперечні складові реакцій M_1 та M_1' , M_2 та M_2' діючі між активними (привідними та обладнаними гальмами) опорними колесами візків, ґрунтом та рейкою, прикладені в точках A та A' , B та B' , відповідно.

Оскільки мостова машина в зборі та її окремі елементи порізно при виконанні технологічного процесу здійснюють рухи в основному в горизонтальній площині, то роботу вертикальних сил вважатимемо рівною нулю. При такому припущенні доцільно розглянути окремо вертикальні складові сил і реакцій (у проекції на вісь y) та окремо провести аналіз навантажень у горизонтальній площині (у координатах xOz)

Силовий аналіз у вертикальній площині

При визначенні вертикальних реакцій вважатимемо, що мостова машина повністю симетрична щодо вертикальної площини xOy [25-27]. У цьому випадку, приймаючи $P_1 = P_1'$, $N_1 = N_1'$, $N_2 = N_2'$, $T_1 = T_1'$, $T_2 = T_2'$ зводимо просторову задачу визначення опорних реакцій до плоскої. Нехтуючи нахилом поля, силами інерції та силами аеродинамічного опору вітру, складаємо рівняння рівноваги мостової машини:

$$\sum X = 2 \cdot T_1 + 2 \cdot T_2 - 2 \cdot P_1 \cos \alpha = 0, \quad (2.7)$$

$$\sum Y = 2 \cdot N_1 + 2 \cdot N_2 - 2 \cdot P_1 \sin \alpha - G_1 - G_2 - G_3 = 0, \quad (2.8)$$

$$\sum M_O = 2 \cdot N_1 \cdot x_A - G_2 \cdot x_{cm} + 2 \cdot P_1 \sin \alpha \cdot x_c + 2 \cdot P_1 \cos \alpha \cdot y_c - G_1 \cdot x_{c\phi} + G_3 \cdot x_D = 0, \quad (2.9)$$

де $P_1 \sin \alpha$ та $2 \cdot P_1 \cos \alpha$ – вертикальна та горизонтальна складові рівнодіючої сили взаємодії робочих органів з ґрунтом;

x_c та y_c – координати прикладення рівнодіючої.

При відомих зовнішніх впливах вертикальні реакції знаходяться у вигляді:

$$N_1 = (G_2 \cdot x_{cm} - 2 \cdot P_1 \sin \alpha \cdot x_c - 2 \cdot P_1 \cos \alpha \cdot y_c + G_1 \cdot x_{cf} - G_3 \cdot x_D) / (2 \cdot x_A) \quad (2.10)$$

та

$$N_2 = (2 \cdot P_1 \sin \alpha + G_1 + G_2 + G_3 - 2 \cdot N_1) / 2. \quad (2.11)$$

При непрацюючій машині робочі органи не взаємодіють із ґрунтом, $P_1 = P_1' = 0$ рівняння (2.10) та (2.11) спрощуються.

Для визначення горизонтальних реакцій між колесами та опорними поверхнями у напрямку осі x , які виникають від дії робочих органів, наведених рівнянь недостатньо: розглянута система являється статично невизначеною. Однак при обмеженні навантаження на підтримуючому візку, можна з достатнім ступенем точності вважати бічні зусилля, що виникають під колесами підтримуючого візка несуттєвими, що не перевищують значення, визначеного зчіпними якостями коліс та обмеженими вертикальним навантаженням:

$$T_1 = N_1 \cdot \varphi_\delta \approx 0, \quad (2.12)$$

де φ_δ - коефіцієнт бічного зчеплення колеса з опорною поверхнею; для пневматичної шини, що знаходиться на ґрунті, $\varphi_\delta \leq 1$.

Тоді: $T_1 \leq N_1$.

При зміні положення технологічного модуля в процесі руху вздовж напрямних змінюватиметься розподіл реакцій між опорами A та B . Для дотримання технологічних параметрів (мінімізація навантаження на опорну поверхню та опорні колеса підтримуючого візка, положення ферми щодо ґрунту), необхідно коригувати положення зрівноважуючого вантажу G_3 за умовою забезпечення сталості навантаження на опору A . Умова такого коригування впливає з рівняння (2.9):

$$x_D = (G_1 \cdot x_{C\phi} + G_2 \cdot x_{Cm} - 2 \cdot P_1 \sin \alpha \cdot x_C - 2 \cdot P_1 \cos \alpha \cdot y_C - 2 \cdot N_1 \cdot x_A) / G_3, \quad (2.13)$$

де $N_1 \approx const$ – величина, що відповідає оптимальному заданому навантаженню на підтримуючий візок.

Всі визначені вище сили визначають навантаженість елементів остова і повинні бути враховані при їх розрахунках на міцність. Визначені сили практично не впливають на енергетичні показники машини.

Силевий аналіз у горизонтальній площині xOz

При нерухомому остові і технологічному модулі на остов в горизонтальній площині діють тільки сили кочення, пов'язані з наявністю нахилу поля, які врівноважуються гальмуванням опорних коліс. Враховуючи, що мостова машина розрахована на роботу при малих ухилах поля, величина кочення від ухилу незначна. Для нерухомої мостової машини її можна визначити з виразів:

$$(T_1 + T_1' + T_2 + T_2') = (G_1 + G_2 + G_3) \cdot \sin \gamma_x \quad (2.14)$$

та

$$(M_1 + M_1' + M_2 + M_2') = (G_1 + G_2 + G_3) \cdot \sin \gamma_z, \quad (2.15)$$

де γ_x і γ_z – кути поперечного та поздовжнього ухилу поверхні поля, відповідно.

Визначення розподілу цих сил між конкретними опорними колесами є статично невизначеною задачею і може вирішуватися з урахуванням розподілу вертикальних реакцій, сил зчеплення з опорною поверхнею, деформацій коліс та опорної поверхні.

При нерухомому остові та працюючому технологічному модулі на остов в горизонтальній площині додатково діють сили, що виникають в результаті розгонів і гальмування технологічного модуля, взаємодії робочих органів з ґрунтом (або іншим технологічним матеріалом, наприклад, рослинами).

Для розгону (гальмування) технологічного модуля в робочому напрямку, тобто, вздовж напрямних по осі x , до модуля від приводу (за допомогою гальма) необхідно докласти відповідну силу

$$F_p = - m_2 \cdot j_x = - G_2 \cdot j_x / g, \quad (2.16)$$

де F_p - сила опору розгону, Н;

m_2 та G_2 – маса, кг та вага модуля, Н ;

j_x - прискорення, що повідомляється модулю вздовж напрямних;

Сила F_p прикладена в центрі мас модуля і через привід передається на опори у вигляді реакцій. Для розгону модуля до швидкості V_{mx} потрібно витратити енергію E_p , рівну:

$$E_p = m_2 \cdot (V_{mx})^2 / 2, \quad (2.17)$$

При гальмуванні енергія розгону поглинається гальмівним пристроєм.

При підйомі робочих органів у транспортне та опускання у робоче положення додатково діють сили інерції, що виникають від нерівномірного руху робочих органів. Ці сили геометрично додаються до сил ваги та передаються на опорні колеса.

При рівномірному переміщенні технологічного модуля у процесі виконання технологічних операцій виникають сили взаємодії робочих органів з ґрунтом P_1 і P_1' , які передаються на опори у вигляді реакцій, сума яких ΣF_{mx} дорівнює сумі сил взаємодії що визначається за рівнянням:

$$\Sigma F_{mx} = P_1 \cos \alpha + P_1' \cos \alpha' \quad (2.18)$$

У передачі реакцій беруть участь елементи остова мостової машини. Для зменшення навантажень на деталі остова і, як наслідок, зменшення його матеріаломісткості та маси, слід віддавати перевагу малореактивним робочим органам, у яких відбувається компенсація реакцій між технологічним матеріалом (ґрунтом) та окремими елементами робочого органу.

Рух технологічного модуля вздовж напрямних (вздовж осі x) супроводжується втратами на кочення опорних коліс каретки по опорній поверхні. Зазначені сили опору є внутрішніми і на опори остова не передаються.

При рухомому остові, технологічний модуль знаходиться в неробочому, транспортному положенні. У цьому режимі на остов у напрямку осі z додатково діють сили, що виникають в результаті розгонів та гальмування всього остова мостової машини.

При визначенні сумарних сил інерції необхідно розглядати окремо маси остова, технологічного модуля та врівноважувального вантажу, враховуючи розташування координат їх центрів тяжіння по висоті та за довжиною ферми (по осях y і x).

Рух остова вздовж осі z супроводжується втратами на кочення коліс по опорній поверхні. Розгін та підтримання рівномірної швидкості руху здійснюється за рахунок роботи ведучих коліс, які створюють дотичні рушійні сили – складові реакцій між колесами та опорною поверхнею у напрямку руху (осі z).

Після визначення реакцій на опори остова мостової машини для всіх режимів роботи можна приступати до розрахунків зусиль і деформацій ферми, перевірки міцності, стійкості та інших параметрів будь-яким відомим способом [26- 28].

Оптимізація параметрів ферми агромосту полягає у виборі таких перерізів, які за заданої довжини ферми забезпечували б достатню міцність і жорсткість. З метою зниження загальної металоємності слід прагнути до мінімізації маси, що припадає на одиницю довжини ферми (питомої маси агромосту).

2.4 Теоретичне обґрунтування параметрів координатно-транспортної системи

Інженерна зона координато- транспортної системи. Частину загальної площі поля F_n займає інженерна зона, яка включає **транспортну систему** для руху засобів механізації та транспортних засобів, **комунікації** для підведення енергії та води для зрошення, **телекомунікаційні канали** для передачі інформації та керуючих сигналів. Інженерна зона площею F_i , визначається в основному площею транспортних систем, вона являється складовою часткою площі поля F_n і впливає на розміри площі агротехнічної зони F_a , де вирощуються сільськогосподарські культури.

Для реалізації координатно-транспортної системи поле поділяється на чітко визначені розміри у взаємно перпендикулярних напрямках. На полях з неправильною конфігурацією площею F_{nn} , що пов'язано з різними факторами (природного, геологічного та техногенного характеру) частина родючої землі стає не доступною для технічно використання з метою облаштування поля, що кваліфікується як втрата площі F_k земельного наділу.

Площа поля неправильної конфігурації визначається за рівнянням:

$$F_{nn} = F_a + F_i + F_k, \text{ за} \quad (2.19)$$

де F_{nn} – загальна площа земельного наділу (ділянки), га;

F_a – площа агротехнічної зони, га;

F_i – площа технологічної зони;

F_k – площа недоступної земельної ділянки, га.

Покращення використання родючої землі за складного рельєфу досягається за рахунок машин зменшеної ширини та продуктивності за збільшення частки застосування ручної праці.

У мостовому землеробстві з координатно-транспортним принципом руху облаштовуються поля прямокутної форми з площею F_n :

$$F_n = F_a + F_i = F - F_k, \text{ га} \quad (2.20)$$

Визначимо коефіцієнту облаштування поля w_F :

$$w_F = \frac{F_a}{F_n} = \frac{(F_n - F_i)}{F_n} = 1 - \frac{F_i}{F_n} = 1 - w_i, \quad (2.21)$$

де $w_i = F_i/F_n$ – відносна втрата площі під інженерну зону;

Коефіцієнт конфігурації q_F поля визначимо, як відношення площі поля F_n до загальної площі земельної ділянки F_{nn} :

$$q_F = \frac{F_n}{F_{nn}} = \frac{(F_{nn} - F_k)}{F_{nn}} = \frac{1 - F_k}{F_{nn}} = 1 - q_k \quad (2.22)$$

де $q_k = F_k/F_{nn}$ – відносна втрата площі через складність конфігурації ділянки.

Коефіцієнт землевикористання k_F визначимо як відношення площі агротехнічної зони поля F_a до загальної площі земельної ділянки F_{nn} :

$$k_F = \frac{F_a}{F_{nh}} = w_F \cdot q_F = (1 - w_i)(1 - q_k), \quad (2.23)$$

Покращити землевикористання, можливо за рахунок зменшення площі інженерної зони F_i та площі втрат F_k та збільшення коефіцієнта k_F . Зменшивши площу транспортних доріжок та збільшивши ширину захвату агромоста, що протирічить положенням при використанні мостових машин на складних ділянках.

Проаналізуємо землевикористання при застосуванні мостової технології з координатно-транспортним принципом руху агромоста на земельній ділянці, яка обмежена лінією довільної форми (рис. 2.7).

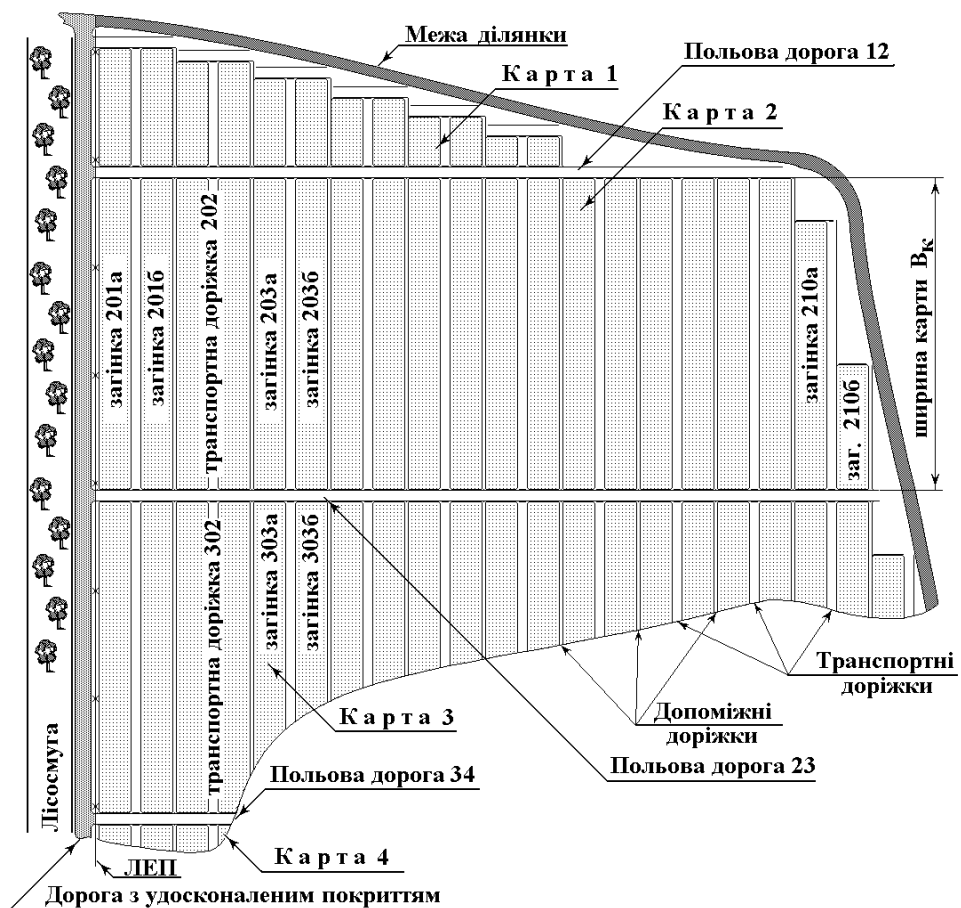


Рисунок 2.7 – Схема поля облаштованого за координатно-транспортним принципом

Для застосування агромостової технології поле повинно проходити поруч *головною дорогою*, бажано з удосконаленим покриттям, поруч з дорогою повинна бути прокладена електромережа, при необхідності, комунікації подачі води для зрошування. Розташування головної дороги визначається розміщенням існуючих доріг.

Планування координатно транспортної системи здійснюється відносно прив'язки до вісі головної дороги. До вісі виконуємо прив'язку габаритних розмірів ділянки довжину L_{∂} , у перпендикулярному напрямку – ширину B_{∂} .

Поле ділиться за допомогою польових доріг шириною B_{nd} , що прокладаються перпендикулярно базовій осі, дорогами поле розділяємо на смуги – карти, довжина карти L_k і ширина B_k . Додатково карти розділяємо допоміжними та транспортними доріжками на загінки, довжина якої дорівнює ширині карти $L_z = B_k$, а ширина B_z – дорівнює ширині захвата B_m чи довжині L_{ϕ} ферми агромоста: $B_z = B_m = L_{\phi}$.

Рух опорно-ходового апарата агромоста здійснюється вздовж загінки (рис. 2.7) по транспортних доріжках шириною B_{md} . Доріжки використовуються для виконання логістичних операцій по обслуговуванню та підвезенню вантажів та відвезення збіжжя т. ін. Довжина загінки L_z мостової машини дорівнює габаритним розмірам карти а саме ширині B_k

З однієї транспортної доріжки можливо виконувати обробіток як ліворуч загінки так і праворуч тобто дві загінки по черзі без холостого переїзду.

Руху підтримуючого візка здійснюється по допоміжним доріжкам шириною $B_{\partial\partial}$, що забезпечує координацію ферми мостової машини. Кількість доріжок повинна бути на одну більше у межах карти ніж транспортних доріжок.

Для реєстрації та інформаційного контролю і забезпечення керування в умовах впровадження точного землеробства, необхідно провести ідентифікацію всіх елементів координатно-транспортної системи. Всі карти, польові дороги транспортні доріжки повинні мати ідентифікаційний номер, як показано на рис. 2.7.

Дослідимо зв'язок розмірів мостової машини з розмірами поля та вплив розмірів окремих елементів на втрати площі під інженерну зону, які оцінюються коефіцієнтом облаштування поля w_F та відносною втратою площі під інженерну зону w_i (рис. 2.8).

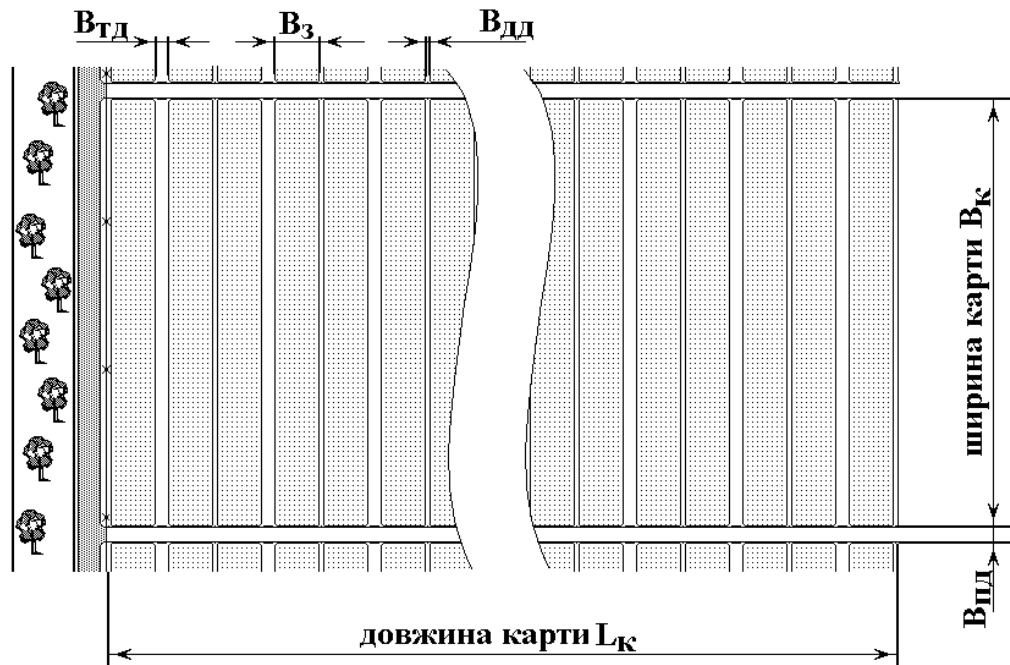


Рисунок 2.8 – Приклад схеми карти поля з КТС

B_k – ширина карти; L_k – довжина карти; B_{nd} – ширина польової доріжки;
 B_{md} – ширина транспортної доріжки; B_{od} – ширина допоміжної доріжки;
 B_z – ширина загінки.

Для запобігання холостих переїздів моста під час роботи у межах карти, при плануванні поля кількість загінок по довжині карти n_z слід встановлювати парною. Враховуючи, що на кожні дві загінки припадає по одній транспортній та по одній допоміжній доріжці і число допоміжних доріжок на одну більше від транспортних, кількість пар загінок n_{z2} , які можна розмістити на довжині однієї карти, не повинна перевищувати:

$$n_{z2} \leq \frac{(L_k - B_{od})}{[2 \cdot B_z + (B_{md} + B_{od})]} \quad (2.24)$$

Робоча довжина карти поля повинна становити:

$$L_{\kappa} = [2 \cdot B_3 + (B_{m\partial} + B_{\partial\partial})] \cdot n_{32} + B_{\partial\partial}. \quad (2.25)$$

Якщо ця довжина не співпадає з фактичною довжиною карти, яка визначається шириною ділянки по межі, то різниця визначатиме втрати площі через складність конфігурації ділянки q_{κ} , які будуть розглянуті далі.

З урахуванням площі польових доріжок, яких припадає по одній на карту і які мають ширину $B_{\text{пд}}$ та довжину L_{κ} , відносні втрати площі під інженерну зону для однієї карти $w_i = F_i/F_n$ будуть становити:

$$w_{i1} = \frac{B_{\kappa} \cdot [(B_{m\partial} + B_{\partial\partial}) \cdot n_{32} + B_{\partial\partial}] + B_{\text{пд}} \cdot L_{\kappa}}{(B_{\kappa} \cdot L_{\kappa})}. \quad (2.26)$$

Позначивши $k_{\text{пд}} = \frac{B_{\text{пд}}}{B_{\kappa}}$ тоді вираз (2.26) матиме вигляд:

$$w_{i1} = \frac{B_{\kappa} \cdot [(B_{m\partial} + B_{\partial\partial}) \cdot n_{32} + B_{\partial\partial}]}{(B_{\kappa} \cdot L_{\kappa}) + k_{\text{пд}}}. \quad (2.27)$$

Підставляючи у формулу 2.27 значення L_{κ} з (2.25) та розділивши чисельник і знаменник на B_{κ} та на $[(B_{m\partial} + B_{\partial\partial}) \cdot n_{32}]$ одержимо:

$$w_{i1} = \left\{ 1 + \frac{B_{\partial\partial}}{[(B_{m\partial} + B_{\partial\partial}) \cdot n_{32}]} \right\} / \left\{ \left[\frac{2 \cdot B_3}{(B_{m\partial} + B_{\partial\partial})} + 1 \right] + \frac{B_{\partial\partial}}{[(B_{m\partial} + B_{\partial\partial}) \cdot n_{32}]} \right\} + k_{\text{пд}}. \quad (2.28)$$

Позначаючи

$$k_d = \frac{B_{\partial\partial}}{(B_{m\partial} + B_{\partial\partial}) \cdot n_{32}} \quad (2.29)$$

та зважаючи на те, що $k_d \ll [2 \cdot B_3 / (B_{m\partial} + B_{\partial\partial}) + 1]$, одержимо:

$$w_i \approx \frac{(1 + k_d)}{\left[\frac{2 \cdot B_3}{(B_{m\partial} + B_{\partial\partial})} + 1 \right] + k_{\text{пд}}} = \frac{(1 + k_d)(B_{m\partial} + B_{\partial\partial})}{(2 \cdot B_3 + B_{m\partial} + B_{\partial\partial}) + k_{\text{пд}}}, \quad (2.30)$$

Тоді коефіцієнт облаштування для однієї карти w_{F1} буде становити:

$$w_{F1} = 1 - w_{i1} = \frac{1 - (1 + k_d)(B_{m0} + B_{o0})}{(2 \cdot B_3 + B_{m0} + B_{o0}) - k_{n0}}. \quad (2.31)$$

Для всього поля при його поділі на n карт неоднакового розміру, коефіцієнт облаштування повинен знаходитися як середньозважений по площі всіх карт:

$$w_F = \frac{\sum_{i=1}^n (F_i \cdot w_{Fi})}{\sum_{i=1}^n F_i}, \quad (2.32)$$

де F_i та w_{Fi} – площа та коефіцієнт облаштування i -тої карти поля.

Крім втрат площі на облаштування транспортних доріжок неминучі втрати від поворотів транспортних засобів, які виражаються у затоптуванні рослин на стиках між перпендикулярними транспортними та польовими доріжками карт (рис. 2.9). Площа затоптування рослин може бути віднесена до площі інженерної зони поля а її величина залежить від властивостей транспортних засобів, які будуть здійснювати перевезення в межах карт.

Для руху енергетичного засобу ширина транспортної доріжки B_{m0} визначається шириною колії засобу з урахуванням ширини охоронної зони. З метою ефективного землекористання ширина доріжки повинна бути мінімальною. При розвороті транспортного засобу буде відбуватися затоптування рослин на деякій площі F_3 . Ці втрати залежатимуть від мінімального радіусу повороту енергетичного засобу R_m . Визначимо втрачену площу на поворотах F_3 за мінімальним радіусом повороту енергетичного засобу за рівнянням:

$$F_3 = (R_M^2 - \frac{\pi R_M^2}{4}) \cdot 2 = (2 - \pi/2) \cdot R_M^2 = 0,43 \cdot R_M^2. \quad (2.33)$$

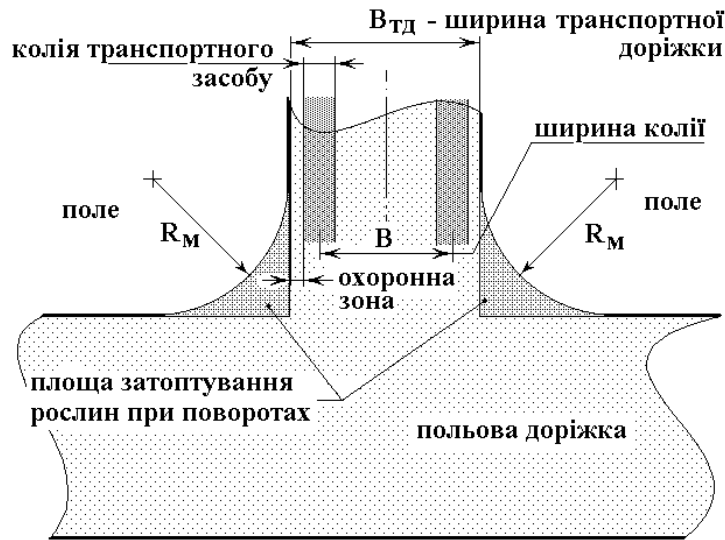


Рисунок 2.9 – Втрати площі на поворотах енергетичної машини

Втрачена від затоптування площа F_3 може розглядатися як деяке збільшення площі інженерної зони а її відношення до площі однієї загінки – як збільшення відносних втрат площі під інженерну зону для однієї карти:

$$w_{i3} = \frac{F_3}{F_k} = \frac{0,43 \cdot (R_M)^2}{(2 \cdot B_3 + B_{m0} + B_{o0}) \cdot B_k} \quad (2.34)$$

Тоді з урахуванням затоптування рослин відносні втрати площі під інженерну зону w_{i1} та коефіцієнт облаштування w_{F1} для однієї карти будуть становити, відповідно:

$$w_{i1} = \frac{(1 + k_d)(B_{m0} + B_{o0})}{(2 \cdot B_3 + B_{m0} + B_{o0}) + k_{n0} + w_{i3}}, \quad (2.35)$$

та

$$w_{F1} = 1 - w_{i1} = \frac{1 - (1 + k_d)(B_{m0} + B_{o0})}{(2 \cdot B_3 + B_{m0} + B_{o0}) - k_{n0} - w_{i3}}. \quad (2.36)$$

Розглянемо взаємозв'язок розмірів ділянки та мостової машини з показниками землевикористання, що характеризуються відносними втрати площі через складність конфігурації ділянки q_k та коефіцієнтом конфігурації q_F .

Згідно рис. 2.7 кінці загінок першої карти, та узбіччям загінок другої карти межею ділянки, крім польової дороги польової дороги, площу якої слід віднести до інженерної зони поля, розміщуються зони які за своєю формою, не дозволяють виконати обробку агромостом.

На розміри таких зон впливають конструктивні параметри мостової машини, а саме ширина захвату агромоста та параметри конфігурації поля кут α між базовою віссю та межею поля (рис. 2.10). В залежності від значення кута α можна вирізнити декілька характерних конфігурацій де неможливо провести обробку площі.

Конфігурація типу 1. За умови розташування межі поля поруч з польовою дорогою, зменшується довжина загінки L_z , що робить не можливим виконання нормальної роботи агромоста. Втрати ділянки за такої конфігурації зображено в вигляді трикутника DEF (рис. 2.10, а).

$$S_1 = [(DE)^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha] / 2 \leq [(L_{\min})^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha] / 2. \quad (2.37)$$

Збільшення кута α призводить до зростання втрат площі, ділянка в вигляді трикутника DEF перетвориться зразу на трапецію а потім на прямокутник, площею S_1 :

$$S_1 = (DE) \cdot (DF), \quad (2.38)$$

де DF – довжина при якій робота мостової машини не можлива.

Конфігурація типу 2. Площа недоступної для обробітку землі на ширині загінок № 101а та 101б дорівнює площі трикутника ABC (рис. 2.10, б). Максимальне значення втраченої для обробітку площі буде при величині кута α , рівній 45° .

$$S_2 = \frac{(AC)^2}{(2tg\alpha)} = \frac{(2B_3 + B_{mд} + B_{од})^2}{(2tg\alpha)}. \quad (2.39)$$

Конфігурація типу 3. На карті № 2, недоступні зони виникають між обочиною загінки та по межі ділянки. Закруглена межа ділянки з середнім радіусом, який визначимо за рівнянням $R \approx B_3 + B_{mд} + B_{од}$ (рис. 2.10, в).

Величиною втрат вважається площа S_3 , окреслену кривою радіусом R та польовою дорогою, яка повинна бути прокладена для руху транспортних засобів і площа якої повинна відноситись до інженерної зони поля:

$$S_3 \approx \pi R^2 / 4 - 2 \cdot (B_3 + B_{mд}) \cdot (B_{од}). \quad (2.40)$$

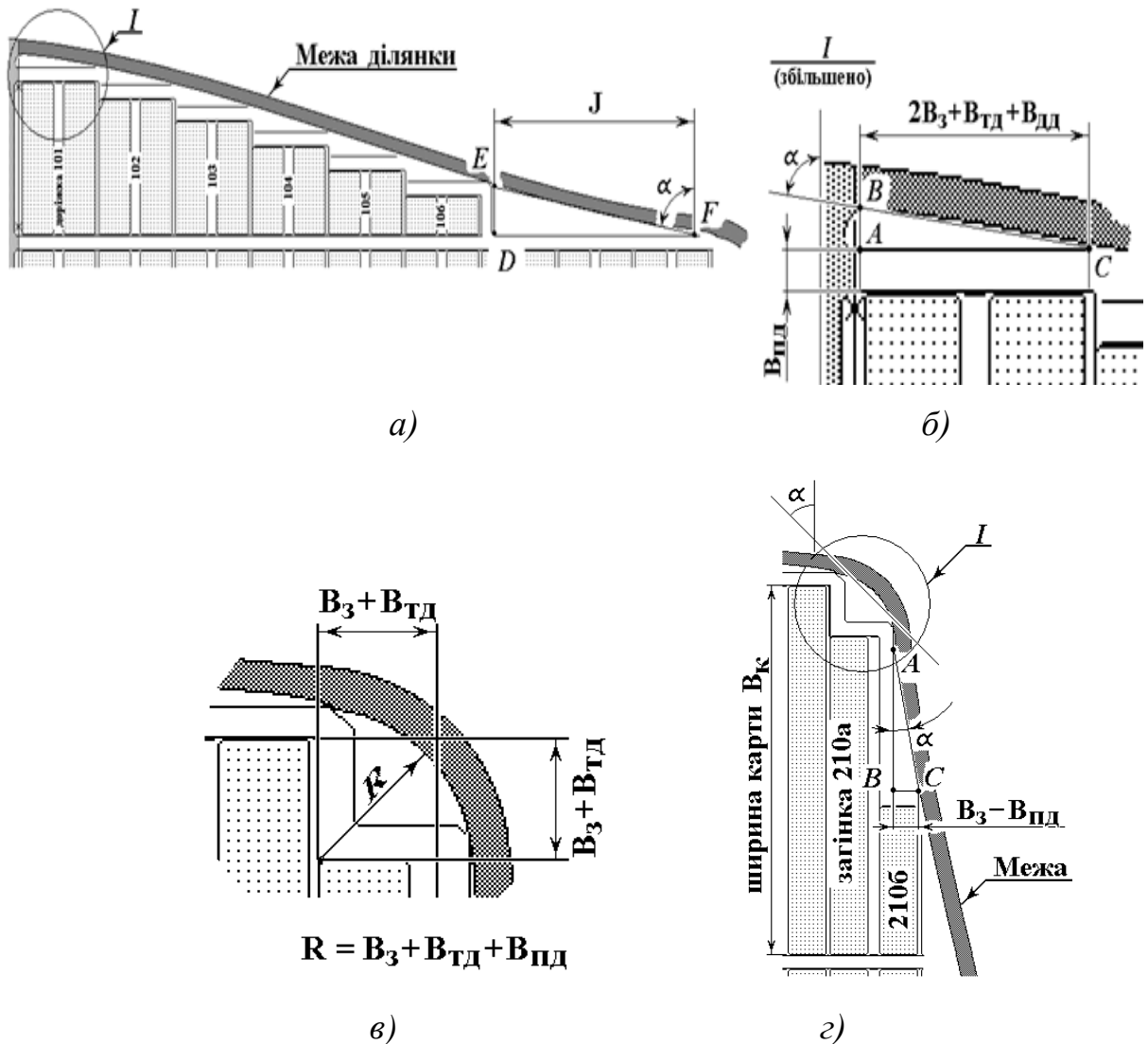


Рисунок 2.10 – Схеми конфігурацій недоступних для обробітку зон

Конфігурація типу 4. При значенні кута α , меншому 45° , величину втрат площі можна визначати як площу трикутника ABC (рис. 2.10, г):

$$S_4 = (B_3 - B_{no})^2 / (2 \cdot tg\alpha). \quad (2.41)$$

Максимальне значення цієї площі буде у випадку, коли катет АВ трикутника ABC стане рівним ширині карти, тобто $tg\alpha = (B_3 + B_{m\partial} + B_{o\partial})/B_k$. Невигідним з точки зору експлуатації мостової машини буде також випадок, коли катет АВ буде рівним половині ширини карти, тобто, $tg\alpha = (2 \cdot B_3 + B_{m\partial} + B_{o\partial})/B_k$. В цьому випадку половина довжини загінки виявляється непарною, що визначає необхідність здійснення холостих проходів агромота.

Практично всі випадки неможливості застосування мостової машини для виконання робіт через складність конфігурації ділянки можна звести до розглянутих чотирьох. При цьому з достатньою точністю можна підраховувати середнє значення втраченої площі кожного типу конфігурації в залежності від середнього значення кута α та ширини загінки B_3 .

Підраховавши площу недоступних для обробки зон, знаходимо загальну площу F_k , недоступну для застосування мостової машини через складність конфігурації поля:

$$F_k = S_1 \cdot n_{s1} + S_2 \cdot n_{s2} + S_3 \cdot n_{s3} + S_4 \cdot n_{s4}, \quad (2.42)$$

де $S_1 \dots S_4$ – середні величини недоступних для обробки площ 1...4 виду конфігурації;

$n_{s1} \dots n_{s4}$ – загальна кількість недоступних ділянок 1...4 виду конфігурації.

Відносні втрати площі через складність конфігурації ділянки та коефіцієнт конфігурації визначатимуться як:

$$q_k = F_k / F_{nn} = (S_1 \cdot n_{s1} + S_2 \cdot n_{s2} + S_3 \cdot n_{s3} + S_4 \cdot n_{s4}) / F_{nn} \quad (2.43)$$

та

$$q_F = 1 - q_k = 1 - (S_1 \cdot n_{s1} + S_2 \cdot n_{s2} + S_3 \cdot n_{s3} + S_4 \cdot n_{s4}) / F_{nn}. \quad (2.44)$$

За результатами отриманих залежностей проведемо розрахунки для ділянки вирощування овочів на площі в 4 га прямокутної форми з довжиною L_d і шириною B_d з примиканням з однієї з сторони головної дороги, необхідної для проїзду до ділянки. В цьому випадку при проектуванні інженерної зони слід правильно вибрати розташування польової дороги та довжину ферми агромота, щоб поле поділилося на парну кількість загінок. Визначимо довжину ферми агромота з урахуванням співвідношення L_d/B_d та коефіцієнта землевикористання з врахуванням розміщення парної кількості загінок на ширині ділянки.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунків землевикористання для мостової машини

Площа ділянки, га	відношення L_d/B_d							
	1		2		3		6	
	ширина ділянки B_d				ширина захвата моста B_{max} , м			
	B_d	B_{max}	B_d	B_{max}	B_d	B_{max}	B_d	B_{max}
0,25	50,00	23,50	35,36	16,18	28,87	12,93	20,41	8,71
0,5	70,71	33,86	50,00	23,50	40,82	18,91	28,87	12,93
0,75	86,60	41,80	61,24	29,12	50,00	23,50	35,36	16,18
1	100,00	48,50	70,71	33,86	57,74	27,37	40,82	18,91
1,5	122,47	59,74	86,60	41,80	70,71	33,86	50,00	23,50
2	141,42	69,21	100,00	48,50	81,65	39,32	57,74	27,37
3	173,21	85,10	122,47	59,74	100,00	48,50	70,71	33,86
4	200,00	98,50	141,42	69,21	115,47	56,24	81,65	39,32
Площа ділянки, га	Коефіцієнт облаштування при $B_z = B_{max}$, $B_{md} = 2$ м, $B_{dd} = 0,5$ м та $B_{nd} = 2,5$ м							
	Коефіцієнт облаштування при $12 < B_z < 24$ м, $B_{md} = 2$ м, $B_{dd} = 0,5$ м та $B_{nd} = 2,5$ м							
0,25	0,8930		0,8828		0,8702		0,8356	-
0,5	0,9237	0,8896	0,9165		0,9076		0,8831	
0,75	0,9375	0,9095	0,9316	0,8916	0,9243		0,9044	
1	0,9458	0,9214	0,9406	0,9059	0,9344	0,8917	0,9171	
1,5	0,9556	0,9116	0,9514	0,9230	0,9463	0,9113	0,9322	
2	0,9615	0,9233	0,9579	0,9332	0,9534	0,9231	0,9412	0,8982

3	0,9685	0,9372	0,9655	0,9211	0,9619	0,9371	0,9519	0,9168
4	0,9727	0,9455	0,9701	0,9316	0,9670	0,9197	0,9583	0,9279

За результатами проведеного розрахунку отримано графічні залежності довжини мостової машини від площі ділянки рис. 2.11 та залежності коефіцієнта землевикористання від довжини мостової машини рис. 2.12.

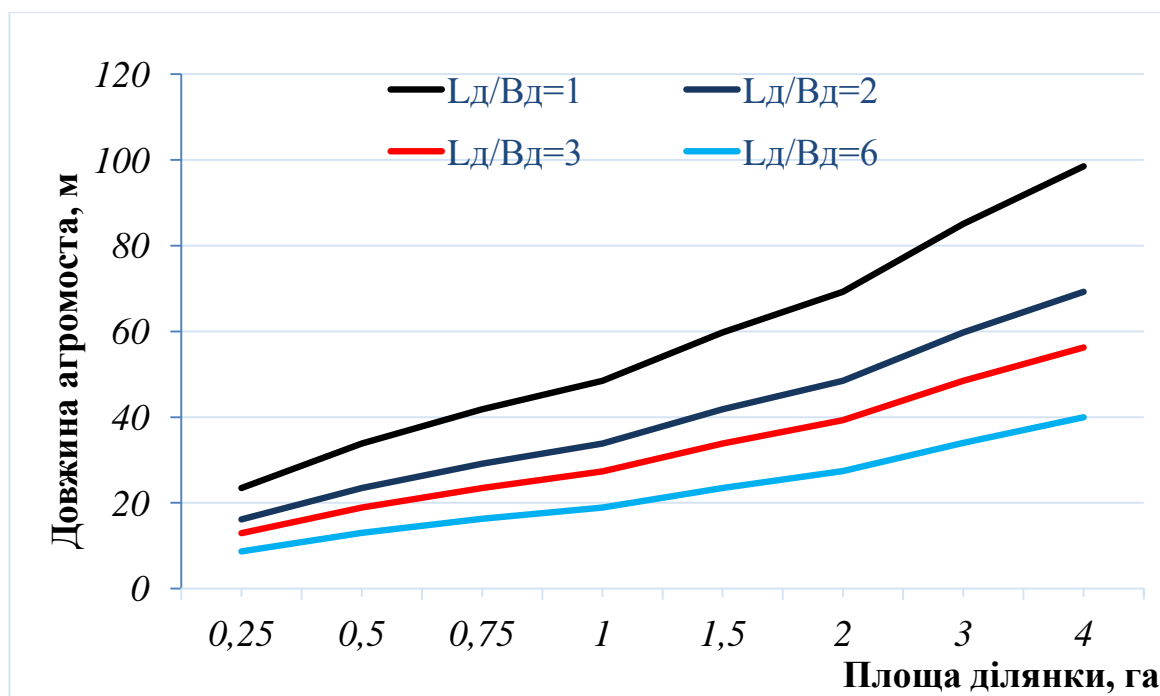


Рисунок 2.11 – Залежність довжини агромота від площі ділянки за різних співвідношень довжини ділянки L_d до ширини V_d

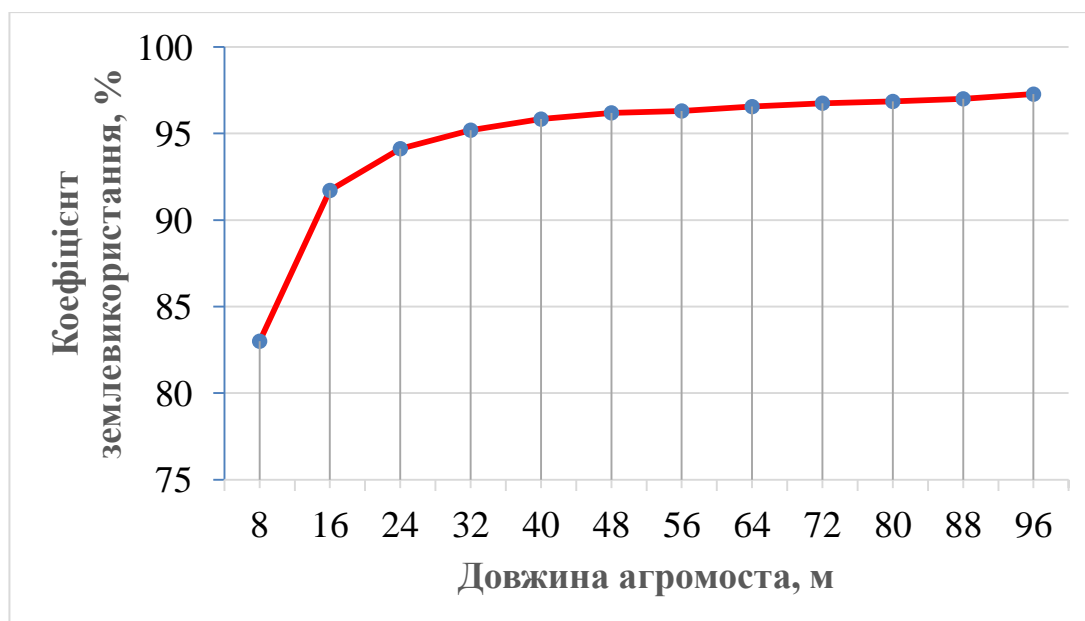


Рисунок 2.11 – Залежність коефіцієнта землевикористання k_F від довжини агромоста B_m

Як видно з таблиці 2.3 та графічних залежностей рис. 2.11 та рис. 2.12 при зменшенні площі ділянки до 0,25 га коефіцієнт землевикористання різко погіршується і не досягає значення 0,9 навіть при точному підборі довжини ферми. Особливо негативно впливає співвідношення сторін прямокутної ділянки. Це означає, що втрати площі на облаштування інженерної зони можуть не покриватися підвищенням урожайності культивованих рослин. Тому застосування агромоста на прямокутній ділянці площею менше 0,5 га слід вважати недоцільним.

Наприклад, при ширині захвату агромоста 18 м та середній довжині загінки 300 м (площа загінки 1,08 га) у найнесприятливішому випадку (при $\alpha = 45^\circ$ з обох сторін поля, коли $\operatorname{tg}\alpha = 1$) відносна втрата площі q_k не перевищуватиме $(18 \times 2)/300 = 0,12$ а коефіцієнт конфігурації $q_F = 1 - q_k = 1 - 0,12 = 0,88$.

При $\alpha = 60^\circ$ з обох сторін поля, коли $\operatorname{tg}\alpha = 2$, втрати зменшуються вдвічі і $q_F = 1 - q_k = 1 - 0,06 = 0,94$.

Покращення коефіцієнта конфігурації можливо здійснити зменшенням ширини захвату агромоста. При зменшенні його вдвічі – до 9 м, в тих же умовах відносна втрата площі становитиме $(9 \times 2)/2/300 = 0,03$ а коефіцієнт конфігурації $q_F = 1 - 0,03 = 0,97$.

Задаючись допустимими значеннями коефіцієнта конфігурації для визначених розмірів та конфігурації ділянки можна обчислити орієнтовне оптимальне значення ширини захвата агромоста:

$$B_m \approx q_k \cdot (L_{cp}) \cdot (\operatorname{tg}\alpha) \quad (2.45)$$

Так, при середній довжині смуги 200 м, середньому значенні $\alpha = 60^\circ$ з обох сторін та допустимому значенні коефіцієнта конфігурації $q_F \leq 0,96$ ($q_k = 0,04$) ширина оброблюваної смуги повинна становити $B = 200 \times 0,04 \times 2 = 16$ м.

Враховуючи, що зменшення ширини захвату агромоста веде до зменшення коефіцієнта облаштування і в результаті коефіцієнт землевикористання зменшується, слід ввести обмеження на мінімальну ширину захвату.

2.5 Висновки

1. За результатами дослідження тягової концепції встановлено, що подальше збільшення тягового ККД можливо тільки за використання машин нової концепції, які переміщуються по постійним технологічним коліям або рейка, як приклад мостові машини.

2. За результатами аналітичного аналізу обрано конструктивну схему одноконсольної мостової машини.

3. Приведено теоретичне визначення опорних реакцій остова від впливу зовнішніх навантажень.

4. За результатами теоретичного обґрунтування параметрів координатно-транспортної системи можна зробити висновок, що для крупних земельних угідь більш-менш правильної форми втрати площі через складність конфігурації ділянки можна не враховувати. Врахування втрат площі земельної ділянки від недосконалості її форми необхідно лише для дрібних ділянок, обмежених складним контуром, які не можна розділити на велику кількість карт і загінок. Коефіцієнт землевикористання для таких ділянок становить 0,8...0,88, такі втрати не можливо компенсувати приростом валового збору продукції. Для цих площ доцільно обмежувати розміри агромоста, щоб він вписувався у складну геометрію ділянки, а при площі ділянки менше 0,5 га застосування мостової машини недоцільно.

Дослідженнями встановлено, що довжина ферми агромоста повинна знаходитися в межах 16...30 м, втрата площі для облаштування інженерної зони не перевищує 6-8 % при очікуваній прибавці врожаю 20...50 %. Зменшення довжини ферми агромоста до 10-12 м суттєво погіршує землевикористання, що може призвести до зниження валового врожаю в

порівнянні з урожаєм, вирощеним за звичайною технологією. Зростання довжини мостової ферми призводить до збільшення матеріалоемності конструкції та фінансового навантаження на проект.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

В результаті аналітичних досліджень, проведених в попередньому розділі, теоретично отримані залежності, що визначають вплив технологічних факторів на формування координатно-транспортної системи КСТ та ширину захвату мостової машини. Отримано теоретичні вирази для знаходження опорних реакцій остова агромота від впливу зовнішніх навантажень.

Різноманіття діючих факторів і складність досліджуваного процесу викликає необхідність проведення експериментальних досліджень, для встановлення оптимальних значень довжини мостової машини для забезпечення ефективності мостового землеробства.

3.1 Програма експериментальних досліджень

У відповідності з поставленими завданнями і результатами теоретичних досліджень була складена програма експериментальних досліджень [29, 30]. Програмою передбачалося виконання наступних етапів експериментальних досліджень:

- розробка експериментального зразка мостової машини;
- експериментальне дослідження механічного впливу на родючий шар ґрунту при застосуванні класичної та мостової технології землеробства;
- проведення експериментальних досліджень для встановлення ефективних показників координатно-транспортної системи;
- обробка та аналіз результатів експериментальних досліджень;

3.2 Конструкція експериментальної мостової машини

Об'єктом дослідження являються конструкція удосконаленої мостової машини. Для проведення удосконалення конструкції в якості прототипу було обрано лабораторну установку агромоста приведену в першому розділі конструктивного аналізу на рис. 1.13.

До недоліків прототипу можна віднести відсутність регулювання ширини захвату мостової ферми та втрату стійкості при переїздах на нову загінку чи при виконанні розворотів, що пов'язано з використання тільки однієї точки опори (одного ведучого колеса) одноконсольної ферми. Врахувавши наведені недоліки розроблено експериментальну мостову машину (рис. 3.1) для вирощування овочів на невеликих ділянках площі до 10 га. Довжина ферми мостової машини «агромоста» кратна 9 м і може змінюватися відповідно до 18м, 27м, 36м, що дозволить провести дослідження залежності коефіцієнту землевикористання від конструктивно-технологічних факторів.

Ферма одним кінцем шарнірно встановлена на основному візку крокуючо-рейкового рушія 1, який має тверді колеса-ролики 2, що котяться по сталевій опорній балці 3, а другим кінцем опирається на підтримуючий візок 4 з пневматичними ведучими шинами 5 з електроприводом 6, ведучі колеса котяться по опорній доріжці ділянки.

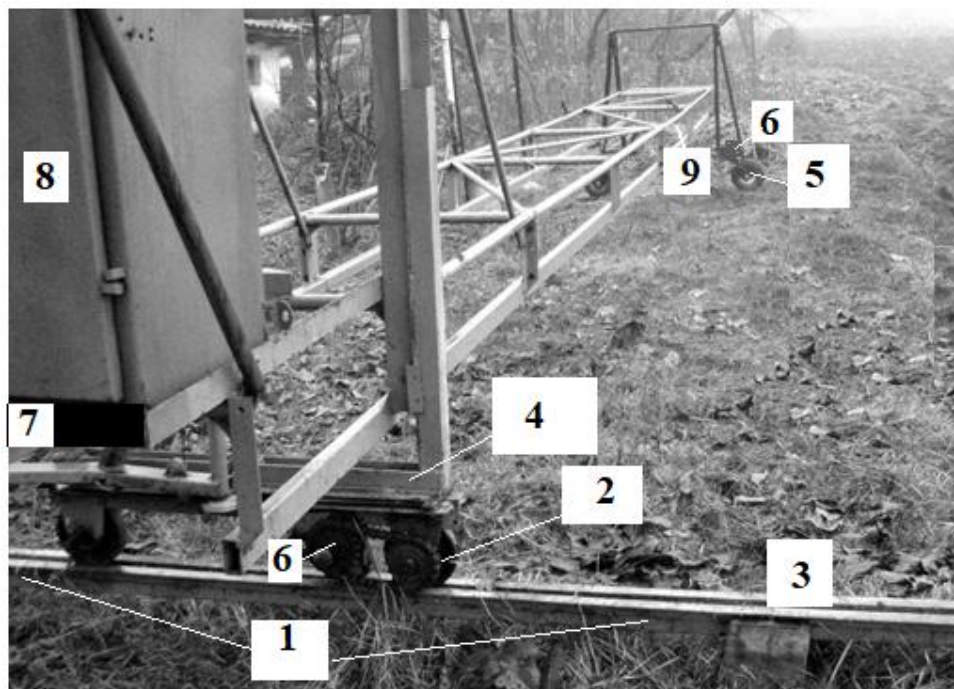


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд експериментальної мостової машини

1 – крокуючо-рейковий рушій; 2 – тверді колеса-ролики; 3 – опорна балка;
4 – підтримуючий візок; 5 – пневматичні ведучі шини; 6 – електропривод
ходової частини; 7 – баласт; 8 – технологічна шафа, 9 – каретка

Підтримуючий візок розвантажений за допомогою баласту 7 (подібно прототипу – баштовому крану). Обидва візки обладнані електроприводами 6 (двигуни 580 Вт з черв'ячними редукторами, фрикційними муфтами і ланцюговими передачами на ведучі колеса). Електрообладнання керування мостовою машиною розміщено в технологічній шафі 8. За допомогою каретки 9 здійснюється переміщення навісного обладнання: сівалок, культиваторів та активних робочих органів копачів попередньо розроблених для підвищення ефективності мостового землеробства на вирощуванні овочів.

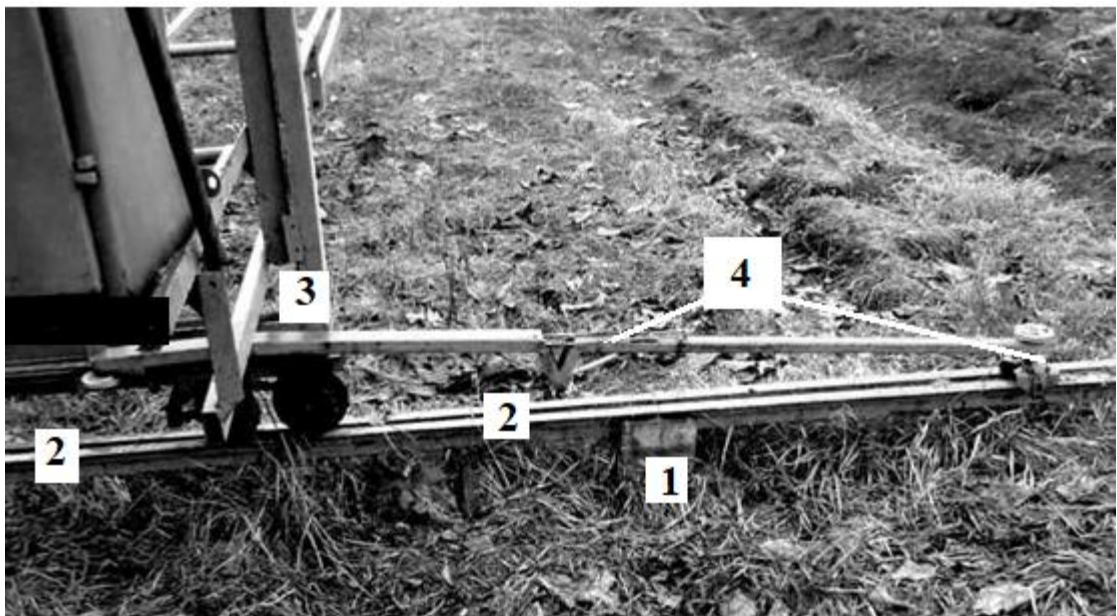


Рисунок 3.2 – Крокуючий-рейковий рушій мостової машини

1 – палі-опори; 2 – опорні балки; 3 – підтримуючий візок; 4 – маніпулятор

Крокуючо-рейковий рушій (рис. 3.2), має палі-опори 1 в ґрунті на які по черзі встановлюються дві опорні балки 2, по одній з яких здійснюється рух основного підтримуючого візка 3, а інша в цей час за допомогою маніпулятора 4 переставляється на наступну пару опор в напрямку руху.

Для реалізації роботи електрифікованої мостової машини з кабельним живленням організовується монтаж опорних стовпчиків (рис. 3.3) на ділянці облаштованій координатно-транспортною системою, особливості якої розглянуто в попередньому розділі.

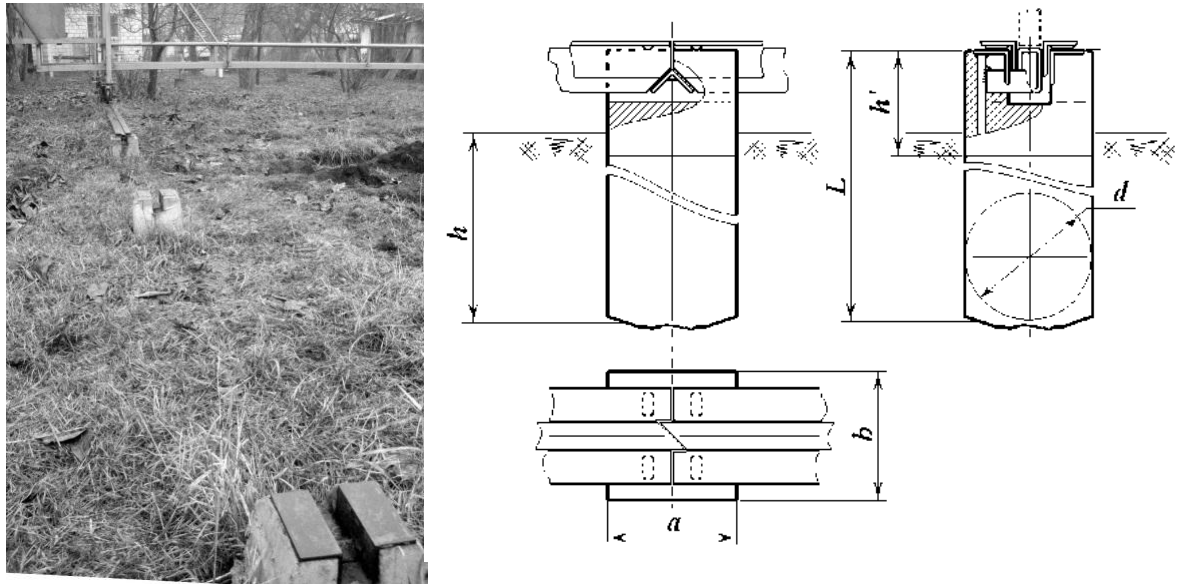


Рисунок 3.3. Схема розміщення опорних стовпчиків

h – глибина розміщення опори; a – довжина опорної поверхні; b – ширина опорної поверхні

3.3 Експериментальне дослідження механічного впливу на родючий шар ґрунту при застосуванні класичної та мостової технології землеробства

Механічну оцінку впливу рушіїв на родючий шар ґрунту проведено за визначення ущільнення ґрунту на використанні двох технологій землеробства класичної тягової та експериментальної мостової на вирощуванні овочів за загально прийнятими методиками [29, 30]. Економічну оцінку приведемо в наступних розділах.

Для виконання програми експериментальних досліджень щодо визначення ущільнення ґрунту по завершенню технологічного етапу вирощування овочевих культур проведемо з використанням лабораторного обладнання а саме твердоміра ДОРНДІ (рис. 3.4) [31]. Прилад дозволяє визначити питоме зчеплення часток ґрунту після проведених ґрунтообробних операцій (оранка, культивуація, дискування, тощо). Шляхом занурення наконечника 5 (рис. 3.4) приладу на глибину до 100 мм. Занурення відбувається за рахунок ударів вантажем 2 по обмежувачу 4. Висота підйому L вантажу по напрямній 3 обмежується гайкою 1. Масу вантажу і висоту його падіння вибирають таким чином, щоб робота падіння була $1 \text{ кг}\cdot\text{м}$. Так, при масі вантажу 2,5 кг висота падіння дорівнює $L=0,4 \text{ м}$.

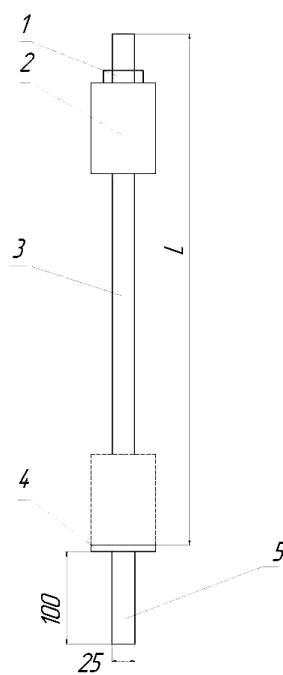


Рисунок 3.4 – Твердомір ДОРНДІ [31]

Негативний вплив від рушіїв енергетичних засобів та людського чинника визначимо по значенню питомого зчеплення часток ґрунту C_n для двох варіантів.

Визначення щільності проводилося на дослідному полі за двома варіантами. В першому варіанті застосовувалася класична технологія вирощування моркви сорту «Нантська» на ділянці площею 2 га, в другому

варіанті використаємо мостову технологію на вирощуванні того ж сорту моркви за такої ж площі . Визначення питомого зчеплення виконували з трикратним повторюванням з визначенням середнього значення кількість дослідів $n_{\text{дос}} = 10$. Досліди проводили після збирання врожаю по 30 замірів на кожній з ділянок пропорційно розбитій на рівні квадрати. По черзі встановлюючи твердомір (рис.3.5) визначаємо кількість ударів твердоміра n_y до повного занурення наконечника у ґрунт на 100 мм. За допомогою графіка рис.3.6 [31] визначаємо значення питомого зчеплення часток ґрунту.



Рисунок 3.5 – Дослідження питомого зчеплення часток ґрунту за допомогою твердоміра ДОРНДІ

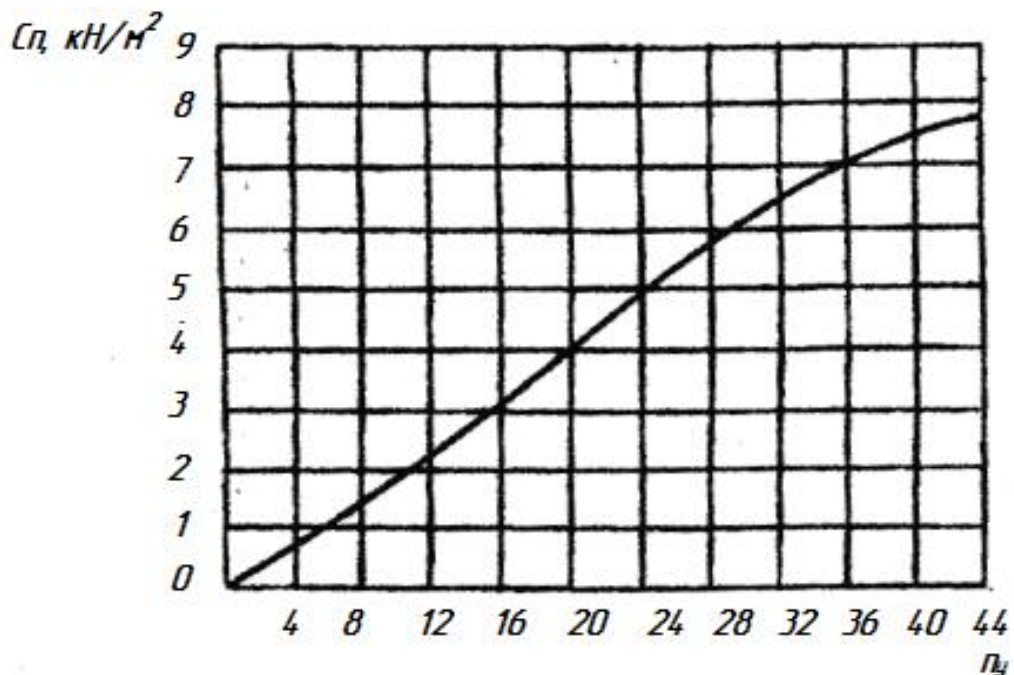


Рисунок 3.6 – Залежність питомого зчеплення часток ґрунту від кількості ударів твердоміра

За результатами проведених досліджень на рисунку 3.7 наведено графічну залежність питомого зчеплення часток ґрунту від поверхні ґрунту для двох варіантів досліджень.

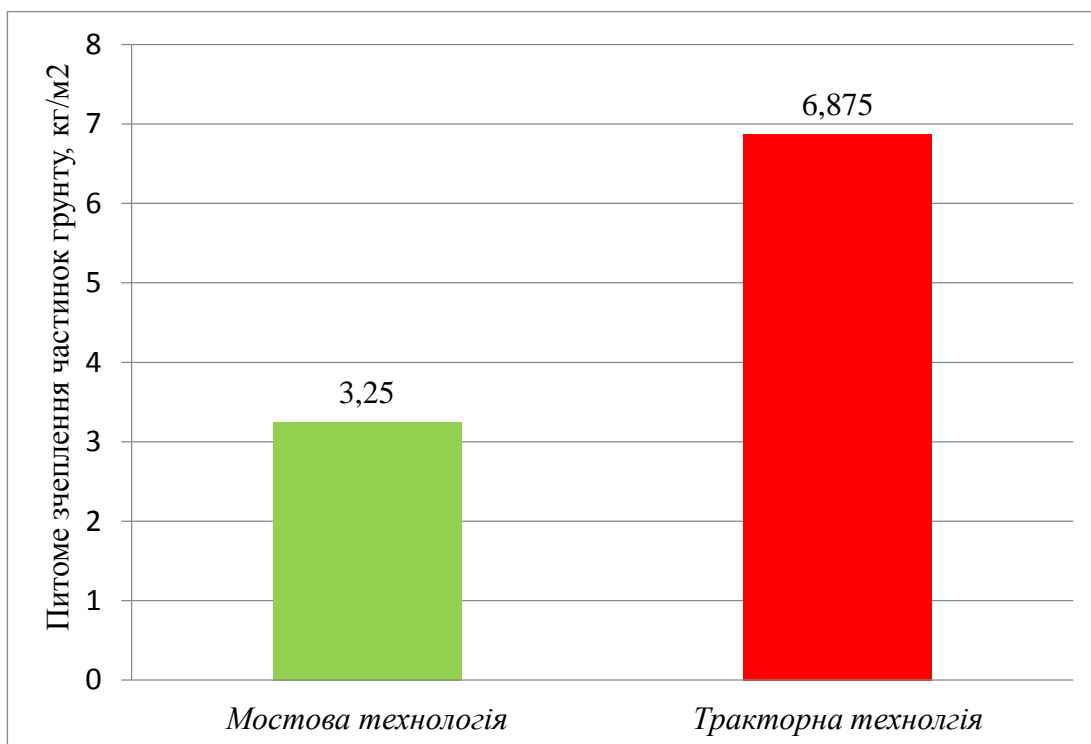


Рисунок 3.6 – Графічна залежність середнього значення питомого зчеплення часток ґрунту від технології вирощування овочів

3.4 Дослідження ефективних показників координатно-транспортної системи для мостового землеробства на вирощуванні овочів

Планування багатофакторного експерименту. Багатофакторний експеримент дозволить встановити найкращі показники землевикористання при впровадженні мостового землеробства на вирощуванні овочів з використанням координатно транспортної системи. Експериментальні дослідження проведено з використанням загальноприйнятої методики планування та проведення багатофакторного експерименту [32, 33].

Експериментальні дослідження проводилися на ділянці поля відведеній для вирощування моркви на площі 2 га. Основна задача експерименту встановити оптимальні значення конструктивно-технологічних параметрів мостового землеробства для досягнення максимального значення критерію оптимізації, а саме коефіцієнта землевикористання k_F . Основними факторами, що впливають на критерій оптимізації обрано ширину захвата агромоста B_m , співвідношення геометричних розмірів поля C_p , ширина допоміжних доріжок B_{dd} .

Для визначення впливу основних факторів на критерій оптимізації проведено багатофакторний експеримент за планом 3×27 [32, 33]. Інтервали та рівні варіювання факторів наведено в табл 4.1.

Таблиця 4.1 – Інтервали та рівні варіювання факторів

Фактори	Позн	Код. позн.	Рівні варіювання			к-ти варі
			-1	0	1	
Ширина захвату агромоста, м	B_m	X_1	9	18	27	9
Співвідношення геометричних розмірів поля L_d/B_d	C_p	X_2	2	4	6	2

Ширина допоміжних доріжок, м	$B_{од}$	X_3	0,16	0,24	0,32	0,08
------------------------------	----------	-------	------	------	------	------

Повторність всіх дослідів триразова, отримані дані записувалися в таблицю 4.2. Обробку та аналіз даних виконували за допомогою програмних математичних пакетів «Statistica-10» та «MathCAD-2001 [35].

Таблиця 4.2 – Багатофакторний експеримент за планом 3×2^7

№ дослідів	Фактори			Критерій оптимізації		
	B_m	C_p	$B_{од}$	Коефіцієнт зем. використання k_F		
				Експер.	Теор.	Відх.
	x_1	x_2	x_3	y_E	y_T	-
1	2	3	4	5	6	7
1	-1	-1	-1	0,918	0,914	-0,004
2	-1	-1	0	0,89	0,885	-0,005

продовження табл. 4.2

1	2	3	4	5	6	7
3	-1	-1	1	0,905	0,897	-0,008
4	-1	0	-1	0,78	0,771	-0,009
5	-1	0	0	0,71	0,707	-0,003
6	-1	0	1	0,73	0,741	0,011
7	-1	1	-1	0,879	0,883	0,004
8	-1	1	0	0,84	0,851	0,011
9	-1	1	1	0,845	0,847	0,002
10	0	-1	-1	0,94	0,95	0,01
11	0	-1	0	0,913	0,908	-0,005
12	0	-1	1	0,92	0,922	0,002
13	0	0	-1	0,82	0,818	-0,002
14	0	0	0	0,75	0,762	0,012
15	0	0	1	0,813	0,809	-0,004
16	0	1	-1	0,91	0,911	0,001
17	0	1	0	0,85	0,861	0,011
18	0	1	1	0,88	0,884	0,004
19	1	-1	-1	0,998	0,98	-0,018
20	1	-1	0	0,972	0,974	0,002
21	1	-1	1	0,982	0,971	-0,011
22	1	0	-1	0,93	0,938	0,008
23	1	0	0	0,899	0,891	-0,008
24	1	0	1	0,911	0,909	-0,002
25	1	1	-1	0,975	0,973	-0,002
26	1	1	0	0,958	0,956	-0,002
27	1	1	1	0,96	0,963	0,003

Розрахунки коефіцієнтів регресії їх значущості і адекватності моделі проводилися за загально прийнятою методикою статистичного моделювання [34, 35] з використанням програмного пакету Statistica-10.

За результатами обробки результатів експериментальних досліджень за допомогою програмного пакету «Statistica-10» отримано математичну модель визначення коефіцієнта землевикористання в залежності від конструктивно технологічних факторів представлену в розкодованому вигляді:

$$k_F = 74,66 - 2,291 \cdot B_m + 0,176 \cdot B_m^2 - 0,7337 \cdot C_p + 0,0029 \cdot C_p^2 - 34,43 \cdot B_{od} + 13,85 \cdot B_{od}^2 + 0,0012 \cdot B_m \cdot C_p - 0,0622 \cdot B_m \cdot B_{od} - 0,0024 \cdot C_p \cdot B_{od} \quad (4.1)$$

Відтворюваність дослідів підтверджено за критерієм Кохрена [33] з достовірністю експерименту $p = 0,95$ $G_{роз} = 0,149 < G_T = 0,2345$ умова виконується.

Адекватності математичної моделі підтверджено критерієм Фішера [33], $F_{роз} = 1,64 \leq F_m = 3,19$ умова виконується, що підтверджує адекватність математичної моделі.

Використавши пакета Statistica визначено поверхні відгуку та бажані значення факторів (рис. 3.7, 3,8), що забезпечать найбільш раціональне використання земельної ділянки при впровадженні мостового землеробства.

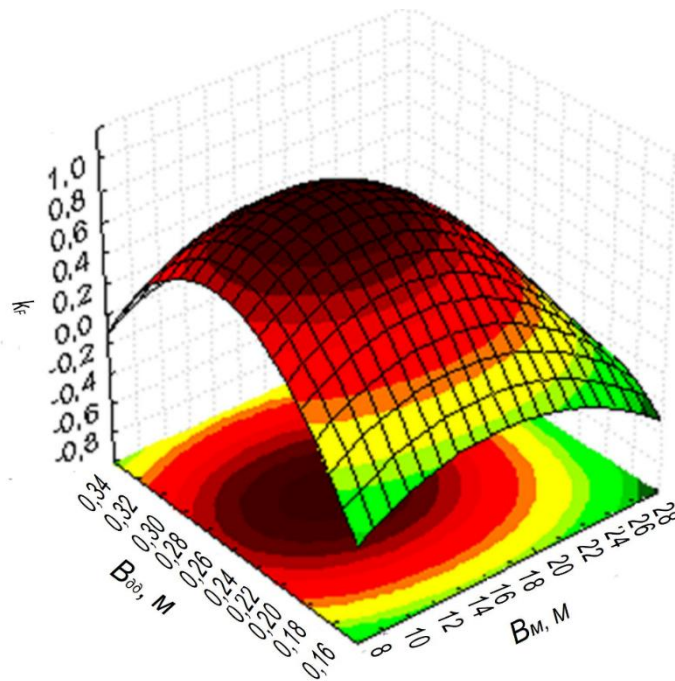


Рисунок 3.7 – Поверхня відгуку

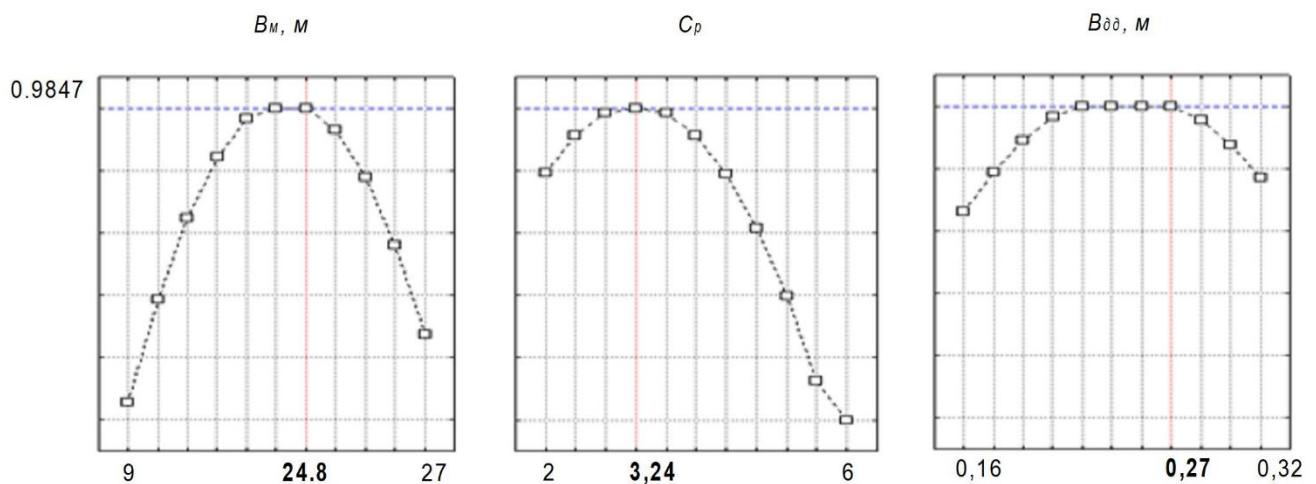


Рисунок 3.8 – Бажані значення факторів

3.5 Висновки

1. Проведене удосконалення мостової машини а саме встановлення на одному із плечей ферми агромоста двох опорних коліс з електричним приводом підвищило стійкість машини при переїздах та розворотах.

Модульна конструкція ферми агромоста дозволила нарощувати її довжину кратною 9 метрам до максимального значення в 27 метрів.

2. Проведені дослідження щільності ґрунту свідчать про негативний вплив рушії в зоні вирощування овочевих культур. Впровадження мостової технології землеробства практично в двічі знижує ущільнення ґрунту в порівнянні з тракторною технологією землеробства.

3. Експериментальні дослідження підтвердили правильність теоретичних висновків і дозволили визначити раціональні параметри координатно-транспортної системи та мостової машини.

Найбільш раціональним землевикористання при запровадження мостового землеробства на вирощування овочів на площі 2га буде за ширини захвату мостової машини $B_m=24,8$ м, ширина доріжок повинна становити $B_{dd} = 0,27$ м, а кратність співвідношення геометричних розмірів поля L_d/B_d повинна становити $C_p = 3,24$.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Вимоги з охорони праці під час експлуатації мостової машини

4.1.1 Загальні вимоги безпеки

До виконання керування мостовою машиною допускаються особи не молодші 18 років, що пройшли медичний огляд, виробниче навчання

2. Медичний огляд, виробниче навчання і перевірка знань оператора мостової машини, проводяться не рідше одного разу в 12 місяців.

3. До роботи оператора мостової машини допускають після стажування не менше 3 днів під керівництвом бригадира або досвідченого працівника. Після перевірки знань і навиків, дозвіл на самостійне виконання робіт дає керівник робіт з записом в журнал реєстрації інструктажу на робочому місці.

4. Відпочивати та приймати їжу в полі можна тільки в спеціально відведених місцях. Відпочивати біля мостової машини, забороняється.

5. Заходити в зону, оброблювану чи оброблену пестицидами забороняється. Межа зони відмічається забороняючими знаками.

6. Особи, що порушують вимоги інструкції, притягуються до відповідальності згідно правилам внутрішнього розпорядку господарства.

4.1.2 Вимоги безпеки перед початком роботи

1. Керівник робіт повинен надати інформацію про особливості виконання технологічної операції рельєф поля, наявність електромереж та технологічних об'єктів водопостачання

2. Оглянути мостову машину, переконатись у відсутності сторонніх осіб на полі та предметів.

3. Перевірити наявності елементів захисту зубчастих і пасових передач, кріплення елементів остова мостової машини, працездатність обладнання та агрегування робочих органів до навісних пристроїв мостової машини.

4. Оглянути кришки ємностей баків, насінневих банок. Вони повинні бути надійно зафіксовані в закритому положенні, усунувши можливість самовільного відкривання під час руху мостового агрегату.

5. Перевірити справність систем контролю роботи мостової машини, зворотнього зв'язку з оператором машини. Комплект інструментів для виконання ремонтних робіт агрегатів в полі. Перед роботою в темний час доби перевірити чи справне освітлення провести відповідні регулювання, для забезпечення візуального спостереження за виконанням роботи в темну пору доби.

6. Перевірити ЗІЗ (спеціальний одяг, респиратор, захисні очки, рукавиці). Перевірити справності, строк придатності.

7. У разі несправності і відсутності ЗІЗ повідомите про це відповідального.

Одягти спецодяг. Закрити волосся, заправити всі елементи спецодягу.

4.1.3 Вимоги безпеки під час виконання роботи

1. Роботи розпопосинаємо з попередження сигналом за умови відсутності сторонніх предметів та людей в робочій зоні
2. Забороняється проводити обслуговування вузлів редукторів, знімати захисне обладнання до повної зупинки енергетичних машин, проводити їх технічне обслуговування: змашувати, регулювати технологічні зазори чи встановлювати необхідні технологічні параметри.
3. На щитку керування мостовою машиною в випадку виконання ремонтних чи технологічних робіт встановити табличку «Не вмикати – працюють люди».
4. Пульти керування та електрообладнання повинно мати захист для робіт в умовах запиленості та вологи.
5. Категорично забороняється робота мостової машини без контролю робочого процесу оператором.
6. Виконання ремонтних та технологічних робіт виконується працездатним інструментом з використанням ЗІЗ.

4.1.4 Вимоги безпеки після закінчення роботи

1. Зупинка мостової машин виконується за умови виконати підняття робочих органів с.г. машин.
2. По завершенню роботи необхідно виконати прибирання робочого місця а саме елементів конструкції агромоста з використанням захисних рукавичок.
3. Періодично робити огляди рухомих елементів машини. Слідкувати за ізоляцією електродротів.
4. Здати захисний одяг та прийняти душ.

4.1.5 Вимоги безпеки праці в аварійних ситуаціях

1. При виникненні поломки устаткування, загрозливою аварією на робочому місці:

- негайно вимкнути устаткування;
- доповісти про ситуацію керівникові
- діяти згідно вказаних подальших дій.

2. У разі отримання травми або погіршення самопочуття працівник повинен припинити роботу, довести до відома керівництво і звернутися в медпункт (викликати швидку допомогу).

3. В результаті нещасного випадку, свідком якого став працівник, необхідно:

- негайно припинити роботу;
- негайно повідомити безпосереднього керівника;
- негайно вивести або винести потерпілого з небезпечної зони;
- надати потерпілому першу допомогу;
- викликати швидку допомогу за телефоном 103;

4. Надаючи допомогу потерпілому при переломах кісток, ударах, розтягненнях треба забезпечити нерухомість ушкодженої частини тіла за допомогою накладення тугої пов'язки (шини), прикласти холод. При відкритих переломах необхідно спочатку накласти пов'язку і тільки потім - шину.

5. При наявності ран накладається пов'язка, за артеріальної кровотечі – накладається жгут.

6. При ураженні електричним струмом необхідно:

- забезпечити припинення дії електричного струму на постраждалого. Що досягається шляхом відключення електромережі, розривом дротів живлення, вимикача, або використовуючи допоміжні (не струмопровідні палиця, мутузка) засоби відвести джерело впливу від потерпілого.

- ні в якому разі не контактувати (торкатися) постраждалого, який знаходиться під впливом електричного струму;
- зробити виклик швидкої допомоги;
- виконати огляд потерпілого, пошкодження обробити та закрити пов'язкою;

- перевірити пульс в разі відсутності провести непрямий масаж серця і та штучне дихання;

- реанімаційні заходи проводяться до відновлення функцій організму, або появи ознак смерті.

7. Всі факти пов'язані з причинами та обставинами нещасного випадку повідомити працівнику слідчої комісії.

4.2 Розрахунок занулення електрообладнання мостової машини

Роботи які пов'язано з мостовим землеробством ведуться на відкритій місцевості а саме на ділянці поля – це і налагоджування обладнання, експлуатація машини.

Живлення електрообладнання здійснюється від мережі змінного струму напругою 380 В, частотою 50 Гц.

Мережа з глухо-заземленою нейтраллю при короткому замиканні фази на корпус повинна бути захищена автоматичним вимиканням пошкодженого електрообладнання. При короткочасному аварійному режимі забезпечується безпека обслуговування і збереження електроустаткування. Короткочасність забезпечується створенням струму певної кратності к.з. відносно корпусу з врахуванням номінального струму обладнання захисту. Що досягається за рахунок прокладання спеціального дроту, який називається нульовим проводом, що приєднується до корпусу електроустаткування. На рисунку 4.1 приведено схему захисного занулення [36-38].

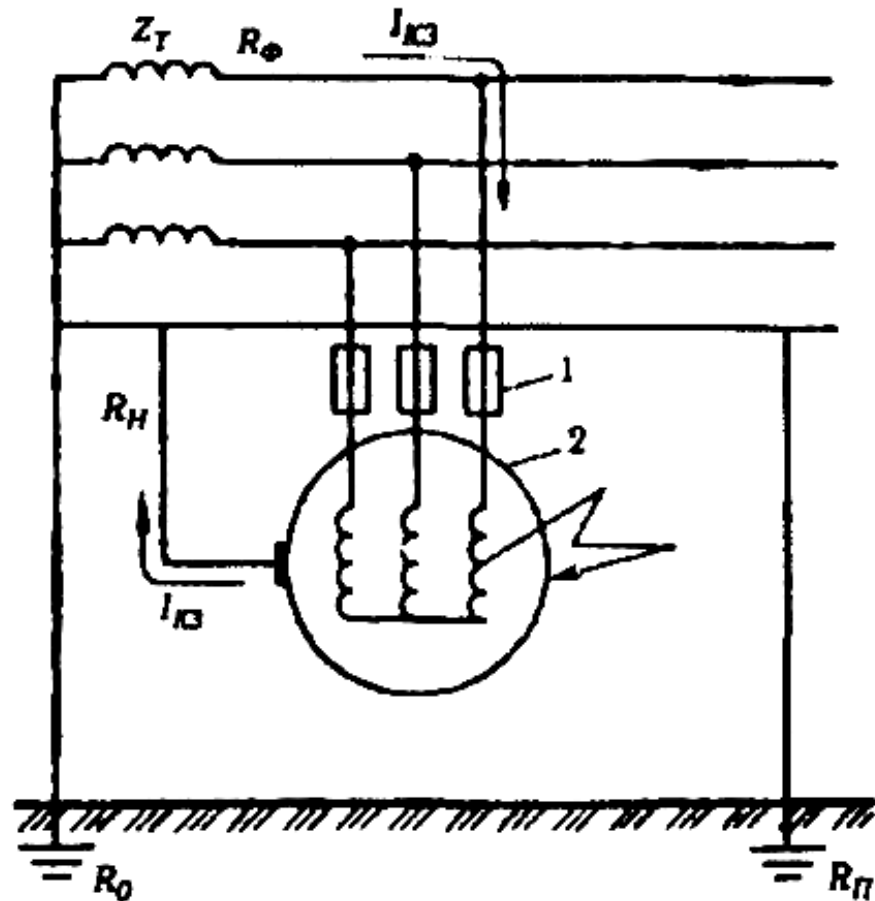


Рисунок 4.1 – Принципова схема занулення

R_0 – заземлення нульової точки трансформатора; Z_T – опір обмоток трансформатора; R_n – опір занулення; 1 – запобіжники; 2 – електричний двигун; $I_{кз}$ – струм к.з.; R_ϕ – опір фазних проводів; R_n – повторне заземлення нульового проводу

На схемі також представлено заземлення нейтралі та повторні заземлення нульового проводу які розміщено на кожному опорному стовпчиківі мостової машини, які знижують напругу на заземлених корпусах електрообладнання у разі обриву нульового проводу.

Повторні заземлювачі знижують небезпечний струм при короткому замиканні на корпус електроустановки, при цьому опір заземлювачів не повинен перевищувати 10 Ом.

На полі де прокладено комунікації а саме лінії живлення мостової машии електричним струмом підключення організовано від трансформатора підстанції потужністю 40 кВт довжина мережі складає 800 м.

Повітряні мережі виконано алюмінієвим проводом з перерізом 16 мм до опори підключення. Від опори до щита керування електричний струм підключено електричним кабелем перерізом 6 мм.

Для використання занулення повинна виконуватися умова:

$$I_{кз} \geq k \cdot I_n, \quad (4.1)$$

де k – кратність номінального струму запобіжника I_n , А,
приймаємо $k = 2$.

Номінальний струм вставки запобіжника це струм, який значено (нанесений) на плавку вставку в процесі виробництва заводом. Для живлення мостової машини струм $I_n = 10$ А. Струм короткого замикання $I_{кз}$ залежатиме від опору кола, напруги на фазі мережі, також впливатиме опір трансформатора Z_T , необхідно врахувати опір фазного провідника R_ϕ , захисного нульовоо провідника R_n , зовнішній індуктивний опір X_Π , опір нейтралі обмоток трансформатора R_o і опір повторних заземлень нульового провідника R_Π . Опори нейтралі трансформатора повторних заземлень досить великі в порівнянні з іншими опорами їх не враховуємо в розрахунках занулення електрообладнання мостової машини:

Струм короткого замикання $I_{кз}$ визначимо за формулою:

$$I_{кз} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_T}{3} + R_\phi + R_n + X_\Pi}, \quad (4.2)$$

де $R_\phi + R_n + X_{II} = R_{II}$ – сумарний опір петлі фаза і нуль.

Опір фазного проводу визначимо за рівнянням:

$$R_\phi = \rho \frac{l}{S} = 0,028 \frac{800}{16} = 1,4 \text{ Ом}, \quad (4.3)$$

де ρ – питомий опір проводу, $0,028 \text{ (Ом} \cdot \text{мм}^2)/\text{м}$,

S – переріз проводу, 16 мм^2 ,

Питомий опір нульового проводу визначимо за рівнянням:

$$R_n = \rho \frac{l}{S} = 0,028 \frac{25}{6} = 0,11 \text{ Ом}, \quad (4.4)$$

де ρ – питомий опір проводу, $0,028 \text{ (Ом} \cdot \text{мм}^2)/\text{м}$,

S – переріз проводу, 6 мм^2 ,

Індуктивний опір X_{II} визначимо за формулою:

$$X_{II} = 0,1256 \cdot \ln \frac{2 \cdot d_{cp}}{d_\phi} = 0,1256 \cdot \ln \frac{2 \cdot 0,8}{0,5} = 0,146 \text{ Ом/км}, \quad (4.5)$$

де d_{cp} - відстань між провідниками, приймаємо $0,8 \text{ см}$;

d_ϕ - геометричний діаметр провідника, приймаємо $0,5 \text{ см}$.

Опір електричної дуги беремо рівним $R_d = 0,024 \text{ (Ом)}$, $X_d = 0$.

Згідно з потужністю трансформатора $Z_T = 0,0044 \text{ (Ом)}$, $X_T = 0,0127 \text{ (Ом)}$

Визначимо сумарний опір петлі:

$$R_{II} = 1,4 + 0,11 + 0,146 = 1,656 \text{ Ом}.$$

Для відключення електроустановки при потраплянні фази на нуль повинна виконуватися умова $\frac{R_H}{R_\phi} < 2$, проведемо розрахунки $R_H / R_\Pi = 0,11 / 1,4 = 0,07 < 2$, отже умова виконується в випадку короткого замикання відбудеться автоматичне відключення.

$$I_{кз} = \frac{220}{\frac{0,0044}{3} + 1,656} = 132,7 \text{ А,}$$

$$I_{кз} \geq k \cdot I_{н.м}$$

$$132,7 \geq 3 \cdot 10 = 30 \text{ А}$$

Захист електрообладнання зануленням виконано правильно, що забезпечить миттєве відключення електроустановки.

4.3 Висновки

Розроблені вимоги з охорони праці під час експлуатації мостової машини зменшать травматизм при експлуатації машин даного типу, та зорієнтують подальші дії працівників в аварійній ситуації чи в результаті виникнення нещасного випадку. Розроблені розрахунки занулення мостової машини убезпечать працівників від враження електричним струмом.

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ

Важливим моментом в встановленні економічного ефекта є вибір зіставленої бази, тобто базової техніки, технології, організації управління, виробництва і праці. Основні вимоги до вибору зіставленої бази змінюються в залежності від стадії розробки і впровадження нової техніки.

На перших етапах створення нової техніки економічна оцінка повинна проводитись в порівнянні з кращими зірцями вітчизняної й закордонної техніки, в тому числі вітчизняної техніки, перебуваючої в стадії проектування. При впровадженні ж в господарстві нової техніки економічна оцінка її призводиться у порівнянні з кращою, вже діючою, технікою в конкретному господарстві.

У ряді випадків виникає ситуація. Коли машина використовується в різних кліматичних, ґрунтових зонах та інших умовах, змінюючих розмір економічного ефекту.

Буде неправильно, якщо при порівнянні варіантів за базу приймається техніка, передбачена для однієї зони (умов), а порівнюєма нова техніка- для іншої. В цьому випадку за базову приймається краща діюча техніка в цій зоні, а при відсутності такої перевіряється можливість застосування наявної аналогічної техніки.

Врахувавши вище наведені положення економічну ефективність роботи визначимо за порівнянням традиційної і мостової технології землеробства. В першому варіанті використовується тракторна (класична) технологія, яка працює від перетворення теплової енергії, згоряння дизельного палива, у механічну, яка в свою чергу передається на рушії трактора, ущільнюючи ґрунт. В другому варіанті використовується мостова технологія, яка працюватиме завдяки електроприводу, використовуючи електроенергію, без прямого контакту рушія з ґрунтом.

За базову модель приймаємо тракторну технологію, а за проектну – мостову технологію на вирощуванні моркви.

Приведемо вихідні дані для порівняння базового і проектного варіантів в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Вихідні дані базового і проектного варіантів

Показники	Базовий	Проектний
Площа землі в обробці, га	1	1
Витрати паливно-мастильних матеріалів, кг/га	148,7	20,1
Витрати електроенергії, кВт·год/га	352	976,2
Балансова вартість машин, грн/га	234923	133400
Кількість днів виконання технічним засобом операцій на протязі року, днів	21	26
Загальна кількість працівників, чол	2	2
Врожайність, т/га	25	38
Прибуток від реалізації продукції, грн/га	72300	106400
Прибуток від приросту врожайності, грн/га	-	34100

Дані для розрахунків прийнято згідно технологічної карти на вирощування моркви.

Річні експлуатаційні витрати, розраховуємо за формулою [37]:

$$B_{\text{екс}} = O + A + T + B_{\text{рес}} + IB, \quad (5.1)$$

де: O - витрати, які включають безпосередньо заробітну плату працівників і нарахування на заробітну плату, грн.;

A - сума амортизаційних відрахувань, грн.;

T - відрахування на поточний ремонт і техогляди, грн.;

$B_{\text{рес}}$ - вартість спожитих на протязі року енергоресурсів, грн.;

IB – інші витрати (вартість миючих засобів, спецодягу і т.д.), грн..

Витрати на оплату праці:

$$B_{\text{оп}} = Z + H, \quad (5.2)$$

де: Z – фонд оплати праці, грн. (за рік);

H - нарахування на фонд оплати праці, грн складає 22 %.

Фонд оплати праці розрахуємо за наступною формулою:

$$Z = N \cdot t_{\text{доб}} \cdot Dp \cdot C_{\text{год}}, \quad (5.3)$$

де: N - кількість людей, які обслуговують технічний засіб на виконанні операції, чел.;

$t_{\text{доб}}$ - тривалість роботи технічного засобу за добу, год.;

Dp - кількість днів виконання технічним засобом операції на протязі року, днів;

$C_{\text{год}}$ - годинна тарифна ставка, грн.

Базовий:

При класичній технології враховуємо усіх працівників, котрі працюють на протязі року.

$$Z = 2 \cdot 8 \cdot 21 \cdot 64 = 21504 \text{ грн.}$$

Проектний:

При проектному варіанті кількість працівників приймаємо 2 чел., годинну тарифну ставку приймаємо 64 грн.

$$Z = 2 \cdot 8 \cdot 26 \cdot 64 = 26624 \text{ грн.}$$

Базовий:

$$B_{\text{оп}} = 21504 + 4730 = 26234 \text{ грн.}$$

Проектний:

$$B_{\text{оп}} = 26624 + 5857 = 32481,3 \text{ грн.}$$

Сума амортизаційних відрахувань:

$$A = \frac{B_{\text{м}} \cdot \alpha \cdot t_{\text{доб}} \cdot D_{\text{р}}}{100 \cdot D \cdot Z \cdot t}, \quad (5.4)$$

де: $B_{\text{м}}$ - балансова вартість технічного засобу, грн.;

α - річна норма амортизації на технічний засіб, %. Для обох проектів приймаємо 15 %;

D - кількість днів роботи технічного засобу на всіх роботах за рік, днів;

Z - кількість змін (планових) роботи за добу, змін/добу;

t - тривалість (планова) роботи технічного засобу на протязі зміни, год/зміну.

Базовий:

$$A = \frac{234923 \cdot 15 \cdot 8 \cdot 21}{100 \cdot 21 \cdot 1 \cdot 8} = 35238,4 \text{ грн/га}$$

Проектний:

$$A = \frac{133400 \cdot 15 \cdot 8 \cdot 26}{100 \cdot 26 \cdot 1 \cdot 8} = 20010 \text{ грн/га}$$

Відрахування на поточний ремонт і техогляди технічного засобу:

$$T = \frac{B_{\text{м}} \cdot b \cdot t_{\text{доб}} \cdot D_{\text{р}}}{100 \cdot D \cdot Z \cdot t}, \quad (5.5)$$

де: b - річна норма відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування, % (приймаємо $b=10\%$, для обох проектів).

Базовий:

$$T = \frac{234923 \cdot 10 \cdot 8 \cdot 21}{100 \cdot 21 \cdot 1 \cdot 8} = 23492 \text{ грн/га.}$$

Проектний:

$$T = \frac{133400 \cdot 10 \cdot 8 \cdot 26}{100 \cdot 26 \cdot 1 \cdot 8} = 13340 \text{ грн/га.}$$

Вартість, спожитих на протязі року, енергоресурсів:

$$B_{\text{рес}} = B_{\text{пмм}} + B_{\text{ел}}, \quad (5.6)$$

де: $B_{\text{пмм}}$ - вартість паливно-мастильних матеріалів, грн.;

$B_{\text{ел}}$ - вартість витраченої електроенергії, грн.

В свою чергу $B_{\text{пмм}}$ розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{пмм}} = Z_{\text{пмм}} \cdot C_{\text{пмм}}, \quad (5.7)$$

де: $Z_{\text{пмм}}$ - річні витрати паливно-мастильних матеріалів, кг;

$C_{\text{пмм}}$ - ціна 1 кг комплексного палива, грн. Показник $C_{\text{пмм}}$ приймаємо 29 грн/кг.

Вартість витраченої електроенергії визначається за формулою:

$$B_{\text{ел}} = Z_{\text{ел}} \cdot C_{\text{ел}}, \quad (5.8)$$

де: $Z_{\text{ел}}$ - річні витрати електроенергії, кВт·год;

$C_{\text{ел}}$ - ціна 1 кВт·год електроенергії, грн. За даними постачальника електроенергії ДТЕК, ціна за 1 кВт·год, на місяць, становить 1,68 грн.

Базовий:

$$B_{\text{пмм}} = 148,7 \cdot 29 = 4312,3 \text{ грн/га.}$$

Проектний:

$$B_{\text{пмм}} = 20,1 \cdot 29 = 582,9 \text{ грн/га.}$$

Базовий:

$$B_{\text{ел}} = 352 \cdot 1,68 = 577,28 \text{ грн/га.}$$

Проектний:

$$B_{\text{ел}} = 976,2 \cdot 1,68 = 1600,9 \text{ грн/га.}$$

Базовий:

$$B_{\text{рес}} = 4312,3 + 577,28 = 4889,58 \text{ грн/га.}$$

Проектний:

$$B_{\text{рес}} = 582,9 + 1600,9 = 2183,86 \text{ грн/га.}$$

Вартість інших витрат, які складають 5% від загальної суми експлуатаційних витрат:

$$IB = \frac{O+A+T+B_{\text{рес}}}{95} \cdot 5, \quad (5.9)$$

Базовий:

$$IB = \frac{26234 + 35238,4 + 23492 + 4889,58}{95} \cdot 5 = 4729,2 \text{ грн/га.}$$

Проектний:

$$IB = \frac{32481,3 + 20010 + 13340 + 2183,86}{95} \cdot 5 = 3579,74 \text{ грн/га.}$$

Базовий:

$$B_{\text{екс}} = 26234 + 35238,4 + 23492 + 4889,58 + 4729,2 = 94584,43 \text{ грн/га.}$$

Проектний:

$$B_{\text{екс}} = 32481,3 + 20010 + 13340 + 2183,86 + 3579,74 = 71594,9 \text{ грн/га}$$

Річний економічний ефект розраховуємо за формулою:

$$E_p = B_{\text{екс}}^{\text{Б}} - B_{\text{екс}}^{\text{П}}, \quad (5.10)$$

де: $B_{\text{екс}}^{\text{Б}}$, $B_{\text{екс}}^{\text{П}}$ - річні експлуатаційні витрати базової і проектної технології.

$$E_p = 94584,43 - 71594,9 = 22989,53 \text{ грн/га}$$

Економічний ефект з врахуванням приросту врожайності:

$$E_{зр} = (E_p + E_{вр}) = 22989,53 + 34100 = 57089,53 \text{ грн/га} \quad (5.11)$$

де $E_{вр}$ – прибуток від приросту врожайності, грн/га;

Для визначення терміну окупності додаткових капітальних вкладень по проекту, в роках, скористаємося наступною формулою:

$$T_o = \frac{\Delta K_B}{E_p}, \quad (5.12)$$

де: ΔK_B – розмір додаткових капітальних вкладень;

E_p - річний економічний ефект, грн.

Так, як енергетичні засоби, які використовуються при базовій технології, не планується продавати, то розмір додаткових капітальних вкладень буде дорівнювати балансовій вартості проектного агрегату тоді, термін окупності складе:

$$T_o = \frac{133400}{57089,53} = 2,33 \text{ роки.}$$

Для порівняння базової і проектної технології вирощування моркви, розраховані показники заносимо в таблицю 5.2.

Таблиця 5.2

Економічні показники впровадження проекту

Показник	Варіанти	Проектний
----------	----------	-----------

	Базовий	Проектний	варіант в грн (+/-) до базового
Вид роботи, що виконується	Вирощування моркви у відкритому ґрунті	Вирощування моркви у відкритому ґрунті	-
Склад агрегату	Енергетичні засоби згідно технологічної карти	Мостова машина	-
Балансова вартість машин, грн/га	234923	133400	-101523
Річні експлуатаційні витрати – всього, грн/га	94584,43	71594,9	-22989,53
У тому числі:			
- заробітна плата з нарахуваннями	26234	32481,3	6247,3
- амортизаційні відрахування	35238,4	20010	-15228,4
- відрахування на поточний ремонт і техогляди технічного засобу	23492	13340	-10152
- вартість спожитих на протязі року енергоресурсів	4889,58	2183,86	-2705,72
- інші витрати	4729,2	3579,74	-1149,46
Річний економічний ефект, грн/га	-	57089,53	-
Термін окупності додаткових капітальних вкладень, років	-	2,33	-

Висновки:

З метою визначення економічної ефективності роботи проведено техніко-економічні розрахунки базового і проектного варіантів технології вирощування моркви у відкритому ґрунті. В базовому варіанті були розраховані показники

для енергетичних засобів класичної технології, а в проектному для мостової машини з навісним обладнанням для виконання технологічних операцій.

За результатами розрахунку отримано економічний ефект від впровадження мостового землеробства 59089 грн/га, завдяки зниженню експлуатаційних витрат та приросту врожайності до 52%. Термін окупності склав 2,33 року. Проведені розрахунки підтверджують економічну доцільність впровадження агромогового землеробства у овочівництві.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Використання енергонасичених тракторів збільшує механічний вплив на родючий шар ґрунтів, що зумовлює ризики утворення вітрової ерозії та переущільнення ґрунтів та додаткові витрати на розущільнення останніх. Вирішити дану проблему можливо застосування альтернативного мостового землеробства де рушії рухаються по технологічним доріжкам координатно-транспортної системи, що спрощує орієнтування мостової машини в просторі. Використання електроприводів в мостовій машині дозволить реалізувати автоматизацію технологічних процесів вирощування овочів.

2. За результатами аналітичного аналізу обрано конструктивну схему одноконсольної мостової машини. Проведено теоретичне визначення опорних реакцій остова мостової машини від впливу зовнішніх навантажень.

За результатами теоретичних досліджень параметрів координатно-транспортної системи встановлено, що найбільші втрати площі на ділянках малої площі з складною конфігурацією. Коефіцієнт землевикористання для таких ділянок становить 0,8...0,88, такі втрати не можливо компенсувати приростом валового збору продукції. На ділянках площею менше 0,5 га застосування мостової машини недоцільно.

Дослідженнями встановлено, що довжина ферми агромота повинна знаходитися в межах 16...30 м, втрата площі для облаштування інженерної зони не перевищує 6-8 % при очікуваній прибавці врожаю 20...50 %. Зменшення довжини ферми агромота до 10-12 м суттєво погіршує землевикористання, що може призвести до зниження валового врожаю в порівнянні з урожаєм, вирощеним за звичайною технологією. Зростання довжини мостової ферми призводить до збільшення матеріалоемкості конструкції та фінансового навантаження на проект.

3. Проведене удосконалення мостової машини а саме встановленню на одному із плечей ферми агромота двох опорних коліс з електричним приводом підвищило стійкість машини при переїздах та розворотах. Модульна конструкція ферми агромота дозволила нарощувати її довжину кратною 9 метрам до максимального значення в 27 метрів.

Проведені дослідження щільності ґрунту підтвердили гіпотезу негативного впливу рушії на зону вирощування овочевих культур. Впровадження мостового землеробства практично в двічі знижує ущільнення ґрунту в порівнянні з тракторною технологією землеробства.

Експериментальні дослідження підтвердили адекватність теоретичних положень і дозволили визначити раціональні параметри координатно-транспортної системи та мостової машини.

За результатами багатofакторного експерименту встановлено раціональні значення конструктивно-технологічних параметрів координатно-транспортної системи на вирощуванні овочів на площі в 2 га, за максимального значення коефіцієнта землевикористання $k_F = 98 \%$, а саме: ширина захвату мостової машини $B_m = 24,8$ м, ширина допоміжних доріжок $B_{од} = 0,27$ м, кратність співвідношення геометричних розмірів поля $C_p = 3,24$.

4. Розроблені вимоги з охорони праці дозволять зменшити травматизм при експлуатації мостових машин, та зорієнтують подальші дії працівників в аварійній ситуації чи в результаті виникнення нещасного випадку. ,

5. За результатами економічних розрахунків підтверджено економічну ефективність проведеного удосконалення технології вирощування овочів впровадженням мостового землеробства та отримано економічний ефект в розмірі 59089 грн/га, завдяки зниженню експлуатаційних витрат та приросту врожайності до 52%. Термін окупності склав 2,33 року.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Тараканова Г.І., Мухіна В.Д. Овочівництво - 2-е вид., Перероб. і доп. - М.: Колос, 2003
2. Куляшов А. П., Колотилин В. Е. Экологичность движителей транспортно–технологических машин. М.: Машиностроение. 1993. - 288с
3. «Driving a revolution in the paddock», ECOS, Jan–Mar, 2004.
4. <https://www.metodolog.ru/01305/3.jpg>
5. Кузнецов Н.Г. Теория тягового баланса энергонасыщенных колесных тракторов при работе на тяжелых почвах засушливых зон. Учебное пособие. - Волгоград, 2004. - 140 с.
6. Куляшов А. П., Колотилин В. Е. Экологичность движителей транспортно–технологических машин. М.: Машиностроение. 1993. - 288с
7. Алексейчик Н.А. Использование машинно-тракторного парка на торфяно- болотных почвах. - Л.: «Колос» 1978. - 240с.
8. «Обзор тракторов на гусеничном ходу»: джерло: <https://enduratracks.com/obzor-traktorov-na-gusenichnom-hodu>
9. «New Quadtrac CVX brings operational and efficiency benefits of continuously-variable transmission to articulated tracked tractor market» джерло: <https://www.caseih.com/emea/en-za/News/Pages/2017-07-24-New-Quadtrac-CVX-brings-operational-and-efficiency-benefits-of-continuously-variable-transmission-to-articulated.aspx>
10. «ХТЗ провів тягові випробовування експериментального трактора» джерло: <https://traktorist.ua/news/1307-htz-proviv-tyagovi-viprobovuvannya-eksperimentalnogo-traktora>
11. «Buhler cutting overhead to boost margins» джерло: <https://www.grainews.ca/daily/buhler-cutting-overhead-to-boost-margins>
12. «НЕ ДАВИТЕ, МУЖИКИ! НЕ ДАВИТЕ!» джерло: www.metodolog.ru
13. Петров Г.Д., Хвостов В.А. Мостовое земледелие: фантазии и реальность // Механизация и электрификация сельского хозяйства – 1985, № 4. – С. 7...10.

14. Улексін В.О. Концепція опорно-ходового апарата для агромота / Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. – Львів: Львів. нац. аграр. ун-т, 2008. – № 12(2). С. 456...464.

15. Улексин В.А. Перспективы применения мостового земледелия. Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету, № 1. – Дніпропетровськ, 2002. – С. 27...29.

16. Улексин В.А. Мостовое земледелие. Монография. – Днепропетровск: «Пороги», 2008. 224с..

17. В.Т. Надикто, В.О. Улексін. Колійна та мостова системи землеробства. Монографія. – Мелітополь.: Видавничий будинок ММД, 2008. – 270 с.

18. Teylor J.H. Development and Beneffits of Vehicle Gantries and Controlld–Traflic Systems / Soaane B.D., van Ouwerkerk C. Amsterdam, 1994. P. 522–538

19. «AGROKRUH» джерело: <http://agrokruh.sk/>

20. Анилович В.Я., Водолажченко Ю.Т. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов. – М.: Машиностроение, 1976. – 455 с.

21. Улексін В.О. Концепція робочих органів для мостового землеробства / Збірник наукових праць Національного аграрного університету “Механізація сільськогосподарського виробництва”, том XIV. – Київ: НАУ, 2003. – С. 206...210.

22. Андрианов В. М. Оптимальная скорость движения энергосредства // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2004. – № 1. – С. 30...32.

23. Чижов А.П., Рыбас Ю.М., Улексин В.А. Влияние сопротивления качению на топливную экономичность колесного сельскохозяйственного трактора / Труды Днепропетровского СХИ. – Днепропетровск: ДСХИ, 1984. – С. 45...48

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

25. Павловський М. А. Теоретична механіка: Підручник. – К.: Техніка, 2002. – 512 с.

26. Дирда В.І., Овчаренко Ю.М., Рижков І.Є. Деталі машин: Підручник. – Дніпропетровськ: Авантаж, 2006. – 448 с.

27. Турбин Б.И. Теоретическая механика. – М. Госсельхозиздат, 1959.– 374 с.

28. Улексін В.О., Кухаренко П.М., Науменко М.М. Особливості розрахунку навантаженості остова агромошта / Матеріали міжнародної науковопрактичної конференції „Проблеми та перспективи розвитку аграрної

механіки”. – Дніпропетровськ: ДДАУ, 2004. – С. 54...57.

29. Надикто В.Т. Основи наукових досліджень. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС. 2019. 268 с.

30. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментальных исследований и

обработки данных / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1973. - 159 с.

31. Волик Б.А., Пугач А.М., Теслюк Г.В., Кузьменко О.Ф. Практикум з курсу "Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів"/ Дніпропетровський державний аграрний університет. – Дніпропетровськ , 2013. – 40с.

32. Нечаєв В.П. Теорія планування експерименту: Навч. посібник / В.П. Нечаєв, Т.М. Берідзе, В.В. Кононенко – К.: Кондор, 2005. – 232 с.

33. Пилипчук М.І. Основи наукових досліджень: Підручник / М.І. Пилипчук, А.С., Григор'єв В.В. Шостак. – К.: Знання, 2007. – 270 с.

34. Пилипчик М.І. Математичне планування багатofакторного експерименту: Навч. посібник / М.І. Пилипчик, М.Д. Кірик, А.С. Григор'єв та ін. – Л.: УкрДЛТУ, 2004. – 54 с.
35. Боровиков В.П. Программа STATISTICA для студентов и инженеров / В.П. Боровиков – М.: Компьютерный Пресс, 2001. – 301 с.
36. Голінько В.І. Основи охорони праці: підручник / В.І. Голінько; Нац. гірн. ун-т. –2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. – 271 с.
37. Довідник з охорони парці в с.-г.:Запитання і відповіді / С.Д. Лехман та ін. К.:Урожай, 1990.-399с.
38. Беликов А. С., Сафонов В. В., Левченко А. И., та інші. Охрана труда в агропромышленном комплексе Украины. Учебник для студентов высших учебных заведений Украины III-IV уровня аккредитации. Черкасы: издатель Чабаненко Ю. А., 2014. 646с.
39. Методичні рекомендації по економічному обґрунтуванню дипломних проектів для студентів факультету механізації сільського господарства, які захищають диплом на кафедрі тракторів і автомобілів / Дніпр, держ. агр. ун-т.; уклад. М.О. Сичова, Н.О Шевченко. - Дніпропетровськ: ДДАУ, 2008. -24 с.