

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет (НП) КОНСТРУВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
Конструювання машин і обладнання
(назва кафедри)

Вячеслав Ловеїкін
(підпис) (ПІБ)

“ ” 2023р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ОРГАНУ

АГРЕГАТУ ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування
(код і назва)

Гарант освітньої програми
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)
Керівники
магістерської кваліфікаційної роботи
к.т.н., доцент Новицький А.В.
к.т.н., ст. викл. Ляшко А.П.
д.т.н., професор Ловеїкін В.С.

Виконав
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)
Йолдич Олена Олександрівна
(підпис) (ПІБ студента)

КИЇВ – 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

НУБІП України

Додаток Д
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (ННІ) _____

З А Т В Е Р Д Ж У Ю
Завідувач кафедри
конструювання машин і обладнання
д.т.н., професор Ловейкін В.С.
НУБІП України
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПДБ)
“ 29 ” березня 2023 р.

З А В Д А Н Н Я

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи студенту
Йолдич Олені Олександрівні
(прізвище, ім'я, по батькові)
Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування
(код і назва)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи (дипломного проекту магістра) Обґрунтування параметрів робочого органу агрегату для вертикального обробітку ґрунту

затверджена наказом ректора НУБІП України від “ 28 ” березня 2023 р.

№ 463 «С»

Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедрі 2023р., жовтень,
31 (рік, місяць, число)

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи (дипломного проекту бакалавра)

1.

НУБІП України

Перелік питань, які потрібно розробити:

1. Аналіз конструкцій та досліджень агрегатів для обробітку ґрунту.
2. Розробка конструкції та розрахунок робочого органу агрегату для вертикального обробітку ґрунту.
3. Динамічний аналіз руху агрегату з робочим органом для вертикального обробітку ґрунту.
4. Оптимізація режиму пуску агрегату з робочим органом для вертикального обробітку ґрунту
5. Розробка заходів з охорони праці при роботі агрегату з робочим органом для вертикального обробітку ґрунту .
6. Економічний розрахунок агрегату з робочим органом для вертикального обробітку ґрунту

Перелік графічних документів (за потреби) 1.

Дата видачі завдання “ 29 ” березня 2023 р.

Керівники
магістерської кваліфікаційної роботи
Ловейкін В.С.
Ляшко А.П.
НУБІП України
(підпис) (прізвище та ініціали)
Завдання прийняв до виконання Йолдич О.О.
(підпис) (прізвище та ініціали студента)

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ОБГРУНТУВАННЯ АКТУАЛЬНОСТІ РОЗРОБКИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ	
1.1. Загальні відомості про агрегати Vertical Tillage	8
1.2. Експлуатація агрегатів для вертикального обробітку ґрунту	9
1.3. Різновиди комбінацій робочих органів агрегатів Verti-Till	10
1.4. Аналіз конструкцій техніки для вертикального обробітку ґрунту	10
1.5. Види технічного обслуговування, які повинен проходити агрегат	21
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ	
2.1. Обґрунтування удосконалення конструкції	23
2.2. Силкові характеристики та тяговий опір робочих органів агрегату для вертикального обробітку ґрунту	25
2.3. Розрахунок осі на міцність	26
2.4. Вибір підшипників кочення за динамічною вантажопідйомністю	30
РОЗДІЛ 3. ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ РУХУ АГРЕГАТУ З ВЕРТИКАЛЬНИМ ОБРОБІТКОМ ҐРУНТУ	
3.1. Розробка динамічної моделі агрегату	32
3.2. Побудова математичної моделі агрегату	34
3.3. Результати динамічного аналізу руху агрегату	40
3.4. Висновки до розділу	44
РОЗДІЛ 4. ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ РУХУ АГРЕГАТУ З ВЕРТИКАЛЬНИМ ОБРОБІТКОМ ҐРУНТУ	
4.1. Основні положення оптимізації режиму руху орного агрегату	56
4.2. Оптимізація режиму пуску механізму орного агрегату	57
4.3. Результати оптимізації режиму пуску орного агрегату	62

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	65
НУБІП України	
5.1. Загальні положення.....	65
5.2. Вимоги безпеки перед початком роботи.....	70
5.3. Вимоги безпеки після закінчення роботи.....	74
5.4. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.....	75
РОЗДІЛ 6. РОЗАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....	77
НУБІП України	
ВИСНОВКИ.....	84
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	86
ДОДАТКИ.....	92
НУБІП України	

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена розробці конструкції та проведенню досліджень руху орного агрегату з вертикальним обробітком ґрунту.

Вона складається з пояснювальної записки, що містить вступ, шість розділів, висновки, список використаної літератури та додатків.

В першому розділі магістерської кваліфікаційної роботи розглянуто загальні відомості про агрегати для вертикального обробітку ґрунту, їх будову, класифікацію та різновиди комбінацій робочих органів та котків різних типів.

В другому розділі роботи розроблено конструкцію робочого органу для вертикального обробітку ґрунту та проведено її розрахунок, а саме обґрунтовано та визначено конструктивні параметри цього агрегату, знайдено необхідні зусилля, які забезпечують її міцність та надійність роботи. Вихідні умови для розрахунку агрегату підібрано згідно з параметрами машини, типом ґрунту та агрофону.

В третьому розділі проведено динамічний аналіз руху орного агрегату з робочим органом для вертикального обробітку ґрунту. Для проведення динамічного аналізу розроблено динамічну модель орного агрегату, на основі якої побудовано його математичну модель, яка являє собою систему диференціальних рівнянь другого порядку. В результаті розрахунку математичної моделі визначені кінематичні, динамічні та енергетичні характеристики орного агрегату.

В четвертому розділі проведено оптимізацію режиму пуску орного агрегату з робочим органом для вертикального обробітку ґрунту. В результаті проведеної оптимізації значно зменшені динамічні навантаження та енергетичні витрати в елементах конструкції орного агрегату.

В розділі з охорони праці розглянуто умови експлуатації орних агрегатів з вертикальним обробітком ґрунту агрегатів, що працюють за технологією Vertical Tillage. Вказано всі запобіжні заходи до початку, під час та після роботи агрегатів, а також порядок дій при настанні аварійних ситуацій.

Також в магістерській кваліфікаційній роботі виконано розрахунок економічної ефективності для удосконалення конструкції агрегату вертикальним обробітком ґрунту Verti Till.

Ключові слова: агрегат для вертикального обробітку ґрунту, Vertical Tillage, Verti Till, колтери, міцність, кут атаки, динамічний аналіз, оптимізація.

ВСТУП

Останнім часом в Україні все більшого поширення набуває застосування технології вертикального обробітку ґрунту або скорочено Верти-Тіл (від англійської vertical tillage - verti till). Обробіток ґрунту за цієї технології здійснюється спеціальними агрегатами з дисковими робочими органами, які забезпечують вертикальне переміщення ґрунту.

Ефект агрегатів вертикального обробітку полягає в тому, що дисковий робочий орган зі спеціальними виступами занурюється в орний шар і рихлить його, відновлюючи структуру ґрунту.

Завдяки цим агрегатам зі спеціально підібраними параметрами робочих органів при оранці ґрунту досягаються такі позитивні ефекти, як збереження вологи та зменшення проявів та темпів ерозії ґрунту. Ці агрегати ефективно здійснюють рихлення ґрунту для підготувати його до посіву, а також сприять руйнуванню підпальної підшви.

Особливістю робочих органів орного агрегату типу «колтерів» є те, що вони створюють постійну вібрацію за принципом відбійного молотка, яка досягає глибших і щільніших шарів ґрунту, подрібнює його навколо оброблюваної зони і залишає в ньому мікро тріщини. Це приводить до того, що ґрунт збагачується повітрям та вологою і сприяє корінню рослин вільно розкущуватися.

Сходи сільськогосподарських культур після вертикального обробітку ґрунту значно покращуються в порівнянні з іншими способами обробітку ґрунту. Крім того, культури стають більш стійкими до засух та хвороб. Це пов'язане з тим, що при вертикальному обробітку ґрунту набагато краще розвивається коренева система сільськогосподарських культур.

Для виявлення умов роботи орного агрегату з робочими органами для вертикального обробітку ґрунту проведено його динамічний аналіз руху в процесі оранки. Для проведення динамічного аналізу розроблено двомасову динамічну модель орного агрегату з тяговим рушієм. На базі цієї моделі побудовано

математичну модель, яка представляє собою систему двох нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку. Отримана система рівнянь розв'язувалась чисельним методом в комп'ютерній програмі «Mathematica». В результаті розв'язку цієї системи рівнянь побудовані графічні залежності кінематичних, динамічних та енергетичних характеристик орного агрегату з вертикальною обробкою ґрунту. На основі отриманих результатів проведено динамічний аналіз руху орного агрегату, який виявив наявність коливань в системі та значних динамічних навантажень в елементах конструкції.

Для зменшення динамічних навантажень в елементах конструкції орного агрегату і коливань в тяговому органі здійснено оптимізацію режиму пуску. В результаті проведеної оптимізації значно зменшились динамічні навантаження та енергетичні витрати.

В магістерській роботі також розроблені заходи з охорони праці при роботі орного агрегату (розділ 5) та проведено розрахунок економічної ефективності використання орного агрегату з вертикальною обробкою ґрунту (розділ 6).

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

1.1. Загальні відомості про агрегати Vertical Tillage

Агрегати для вертикального обробітку ґрунту, відомі також як агрегати Vertical Tillage, представляють собою сучасні сільськогосподарські машини, спеціально призначені для покращення структури ґрунту та підготовки його до наступних сівозмін.

Основні відомості про агрегати Vertical Tillage:

Призначення:

Ці агрегати використовуються для обробки ґрунту з метою знищення решток рослин, розрівнювання поверхні ґрунту та часткового розривання плугованого шару, залишаючи при цьому значний вміст рослинних залишків на поверхні.

Робочі органи:

Вони зазвичай мають вигляд дискових, зубових або інших спеціалізованих робочих елементів, які розривають і розрівнюють ґрунт, одночасно зберігаючи великі частки рослинних залишків на поверхні для мінімізації ерозії.

Переваги:

Використання таких агрегатів сприяє зменшенню втрат вологи в ґрунті, зберіганню рослинних залишків, а також зниженню ерозії.

Ефективність:

Vertical Tillage дозволяє підготувати ґрунт для наступного посіву, забезпечуючи кращі умови для росту рослин та підвищення врожайності.

Використання:

Ці агрегати знаходять широке застосування в сільському господарстві, де підготовка ґрунту до сівозміни є важливим етапом в сільськогосподарському виробництві.

Vertical Tillage - це спеціально розроблені технології та агрегати, спрямовані на покращення якості та структури ґрунту, зберігання вологи та зменшення ерозії, що відіграють важливу роль у сучасному сільському господарстві. McFarlane SPR1000 Seedbed Conditioner є одним з перших агрегатів, які використовували технологію вертикального обробітку (Vertical Tillage) у сільському господарстві. Цей агрегат розроблявся з метою покращення структури ґрунту та підготовки його для подальших робіт. Методика використання цього агрегату вирізняється за рахунок оброблення ґрунту під кутом, що дозволяє покращити умови для росту культур та зменшити зношеність рілнихих

інструментів. Це стало важливим кроком у розвитку сучасних методів обробки ґрунту в сільському господарстві.

Експлуатація агрегатів для вертикального обробітку ґрунту

З роками ситуація зі станом ґрунту в Україні погіршується. Земля ущільнена, а цей фактор посилюється посушливим кліматом. Ця проблема спонукала до використання різноманітних технологій обробки ґрунту, включаючи вертикальний обробіток. Використання агрегатів для вертикального обробітку (таких, як Верті-Тіл) може запобігти утворенню глибоких ущільнених шарів ґрунту, які впливають на капілярність та обмін вологою, і сприяти нормальному розвитку кореневої системи рослин.

Щодо експлуатації агрегатів, головними вимогами є вибір підходящого трактора. Необхідно переконатися, що маса агрегату не перевищує 150% маси трактора (трактор повинен важити принаймні 67% від маси агрегату). Неправильний вибір трактора може бути дуже небезпечним і спричинити втрату керування, серйозні травми та навіть загибель.

Оптимальні умови для перевезення агрегату Verti-Till включають такі етапи:

1. Перевірка точної маси агрегата та його надійне приєднання до трактора.
2. Використання палець зчпного пристрою зі стопором відповідного розміру та з відповідним рівнем навантаження.
3. Перевірка правильної роботи фар та вогнів.
4. Встановлення транспортних упорів, замків бокових секцій та закриття запобіжного крана бокових секцій.
5. Перевірка тиску в шинах.
6. Дотримання швидкісного режиму до 32 км/год і відповідність усім законам під час руху дорогами загального користування.
7. Урахування ширини агрегата порівняно з трактором для забезпечення безпечної відстані.

1.2. Різновиди комбінацій робочих органів агрегатів Verti-Till

Основні робочі елементи агрегата - це дискові хвилясті ножі, які розташовані на окремих пружинних стійках та функціонують на високих швидкостях зі значними навантаженнями. Особливість колтерів полягає в їхній здатності генерувати постійну вібрацію, що проникає на глибші та більш щільні шари ґрунту, подібно до принципу відбійного молотка, роздрібнюючи ґрунт навколо оброблюваної зони та створюючи мікротріщини, що полегшують проникнення повітря, вологи та коренів у ґрунт.

Задня частина такого агрегату містить важку пружинну зубову борону і вичісуючий пластичасторебристий коток, який виконує завершальну обробку ґрунту після дії колтерів.

Аналіз конструкцій техніки для вертикального обробітку ґрунту

Компанія Zeus Agro є лідером у виробництві техніки для обробітку ґрунту та посіву в Україні. В їх асортименті представлений агрегат Zeus-6, який має ширину захвату 6 метрів і призначений для виконання поверхневої обробки ґрунту.

Основною особливістю агрегата Zeus є важка дискова борона з унікальними функціями. Унікальність полягає у специфічному способі функціонування дискових робочих органів: замість підрізання ґрунту з подальшим перевертанням, вони сколюють і зміщують ґрунт. Цей процес дозволяє значно зменшити витрати енергії на обробку та в результаті зекономити до 50% палива.



Рисунок 1.1 - Агрегат Zeus

Робочі органи агрегата, які складаються з двох дисків на одній стійці, мають окреме закріплення до рами за допомогою чотирьох гнучких гумових амортизаторів. Ця конструкція дозволяє кожному робочому органу точно копіювати поверхню поля, а гумові амортизатори зменшують динамічне навантаження на раму. Це стає можливим завдяки чотирирядному розташуванню робочих органів та жорсткому кріпленню робочих дисків на окремих стійках.

Для забезпечення ефективного поверхневого вертикального обробітку ґрунту виробник пропонує зміну робочих дискових органів на хвилясті колтери діаметром 550 мм. При використанні VT (Vertical tillage - вертикального обробітку) хвилясті колтери також встановлюються парами на одну стійку. Кріплення стійки до рами відповідає кріпленню на дисковій бороні.



НУБІП України

Рисунок 1.2 - Хвилясті колтери

НУБІП України

Колтери розміщені на рамі агрегата у чотири ряди, з відстанню 103 мм між сусідніми елементами. Кожен колтер витримує тиск у 180 кг (але може відрізнятись залежно від конфігурації), дозволяючи працювати навіть з твердими ґрунтами.

НУБІП України

Універсальна дискова борона ZEUS, як в комплектації "HD" так і "VT", забезпечує якісне оброблення ґрунту і зберігання вологості на глибині від 5 до 22 см (HD) та від 5 до 12 см (VT). Щоб розширити функціонал агрегата, виробник пропонує встановлення систем для внесення мінеральних добрив (переважно з лінійною системою внесення), які закладаються в ґрунт за допомогою розпушувальних лан.

НУБІП України

У комплектації з агрегатом ZEUS є дві системи для внесення твердих мінеральних добрив: механічна та пневматична. Механічна система складається з чотирьох бункерів по 500 л та спеціальних робочих стійок, розташованих під робочими дисками (дозволяють висівати добрива на глибину до 20 см). У пневматичному варіанті використовується додатковий бункер з електроприводом для висівного апарату, при цьому бункери можуть бути розташовані перед або за трактором.

НУБІП України

Виробник пропонує як додаткове обладнання установку передньої котки, яка рубає ґрунт і має можливість регулювати його агресивність або повністю виключати з робочого процесу. Останнім робочим органом є каток, для якого є декілька варіантів: гумово-клиновий, сегментний або важкий кільчасто-щипоровий каток. Транспортна ширина агрегату становить 3,5 метра.

НУБІП України



Рисунок 1. -. Гумово-клиновий каток

Виробник сільськогосподарської техніки, компанія Avers Agro, на виставці Агроекспо презентувала робочий прототип машини для вертикального обробітку ґрунту, розроблений три роки тому. Конструкція цього агрегату включає нові технічні рішення, що ґрунтуються на попередньому досвіді експлуатації подібних машин.

Компанія пропонує широкий спектр агрегатів для вертикального ґрунтообробітку, які відповідають потребам українських аграріїв незалежно від розміру їхніх господарств та наявної силової техніки. Лінійка складається з дев'яти моделей з робочою шириною: 2,6/3,9/5,2/6,5/7,8/9,1/10,4/11,7/18,2 метра. Початково машину розробляли як агрегат виключно для вертикального обробітку ґрунту.

Агрегат, завдяки добре продуманій конструкції рами, може бути обладнаний різними видами робочих органів, що значно розширює можливості його використання.

Для вертикального обробітку ґрунту, агрегат може мати два типи хвилястих дисків. Це можуть бути диски з діаметром 570 або 580 мм, товщиною 5 мм. Вони відрізняються кількістю та глибиною хвиль. У першому варіанті диск має 13 хвиль з глибиною вигину 32 мм, а в другому - 8 хвиль з глибиною 65 мм, що дозволяє вибрати оптимальний робочий орган відповідно до потреб та бажаного результату роботи.

НУБІП України

НУБІП України



Рисунок 1.4 -. Хвилясті колтери компанії Avers Agro

За допомогою пружинного механізму, диски агрегату кріпляться до рами. Вони встановлені у п'ять рядів на одній стійці з відстанню 15 см між собою, що дозволяє краще проходити рослинні рештки під рамою агрегату та уникнути їх забивання в ґрунт. Таке кріплення робочих дисків забезпечує їхню стабільність при роботі навіть на пересушених ґрунтах і високих швидкостях. Диски також мають можливість точно копіювати слід трактора, навіть на поворотах, завдяки поворотному механізму стійки з можливістю $\pm 12,5^\circ$ кута повороту.

Таке технічне рішення має позитивні та негативні сторони. Серед позитивних сторін - зменшення навантаження на раму і точне виконання обробки поля навіть під час поворотів. Проте практичні випробування показали, що така конструкція може викликати бічне ведення агрегату, особливо на полях зі схилами. Щоб вирішити цю проблему, на агрегаті замінили поворотні бічні стійки на стійки без можливості повороту.

Вертикальний хід робочих органів становить 250 мм, що дозволяє подолати перешкоди і змінний рельєф поля: коли зустрічається перешкода, піднімається лише одна стійка з дисками, а решта залишаються в ґрунті. Така конструкція також дозволяє досягати високих робочих швидкостей (14-25 км/год). Виробник стверджує, що вертикальна вібрація дисків на таких швидкостях діє на землю подібно відбивному молотку, роблячи шар ґрунту нижче робочої глибини більш розгалуженим, розриваючи ущільнення та створюючи умови для утримання вологи.



Рисунок 15 - Агрегат для вертикального обробітку ґрунту від компанії Amers Agro

Розглянемо додаткові робочі органи для агрегату. Виробник пропонує встановлення культиваторних стійок для суцільної ґрунтообробки та надцевих аераторів. Останні є новим видом машин для українських аграріїв, але широко використовуються у світі.

Приватна компанія "Хартехпром-97" займається конструюванням і виробництвом сільськогосподарської техніки вже понад 20 років. У їх лінійці продукції є агрегати для основної та передпосівної ґрунтообробки, які забезпечують повний цикл технологічних операцій з обробки ґрунту. Новим досягненням є універсальні агрегати КВО, які можуть комплектуватися різними робочими органами, включаючи ті, які використовуються для вертикальної ґрунтообробки.

До комплектації цього агрегату входить трирядна щейф борона та спіралевидний планчато-ребристий каток. (рис. 1.6.).



Рисунок 1.6 - Трирядна щейф борона та спіралевидний планчато-ребристий каток

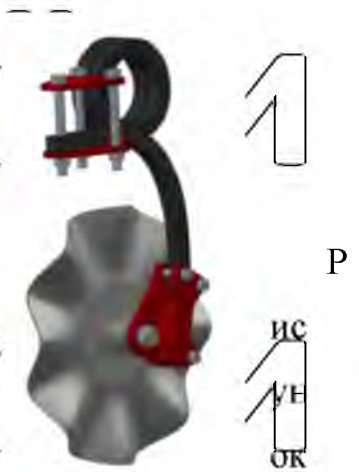


Рисунок 1.7 - Агрегат КВО-3

НУБІП України

Запропонована компанією лінійка агрегатів цього типу складається з чотирьох моделей, які відрізняються шириною захвату, кількістю робочих органів та вимогами до тягової сили.

Для невеликих фермерів, які обрали технологію вертикального ґрунтообробітку та мають трактори потужністю 80 кінських сил, компанія пропонує агрегат КВО-3 з шириною захвату 3,1 м. Для більш потужних тракторів виробник запропонував машини КВО-4, КВО-5 та КВО-6, з робочою шириною захвату 3,6/5,2 та 5,7 м відповідно. Але існує можливість модифікації: замість хвилястих дисків на робочі стійки можуть бути встановлені культиваторні лапи шириною захвату 430 мм, що дозволяє знищувати бур'яни та проводити обробітку ґрунту на глибину до 18 см. У цьому випадку робоча ширина машин становить 3,3/3,8/5,4 та 5,9 м відповідно. Максимальна глибина обробітку ґрунту, незалежно від комплектації, становить 18 см.



1.8 - Хвилясті колтери

Згідно із потребами фермерів, культиватор може бути обладнаний різними типами стійок та відрізнитися методами їх кріплення до рами. Виробник запропонував використання пружинних стійок з жорстким кріпленням чи пружинного блока для регулювання жорсткості ходу стійки та впливу робочих

органів на ґрунт. При другому варіанті кріплення можливо регулювання жорсткості за допомогою зміни положення пружин. Також можливо встановлення диска для розрізання рослинних залишків перед робочими стійками, якщо використано культиваторні лапи.

Агрегат має передній дисковий коток, що дозволяє працювати на полях з великою кількістю поживних залишків, особливо на полях з рештками грубостеблових культур, як от соняшник. Робочі органи котка розташовані шаховим порядком, що забезпечує ефективне подрібнення рослинних залишків.

Кріплення до рами виконане з використанням гумових демпферів, знижуючи динамічне навантаження на раму під час роботи, що сприяє тривалішому терміну експлуатації.

Останнім етапом роботи є дворядна пружинна борона та планчастий коток.

Діаметр робочих органів борони - 10 мм. Пружинна борона використовується для додаткового вирівнювання поверхні поля після основної обробки робочими органами. Також вона сприяє розподілу поживних залишків при обробці необробленого поля, як от поля під стерном. Агрегат передбачає регулювання кута атаки робочих органів та їхнього натиску, забезпечуючи стабільну роботу без забивання, навіть на полях із великою кількістю решток.

В разі необхідності, культиватор може працювати у будь-якій комплектації, без переднього подрібнювача, заднього котка чи пружинної борони.



НУБІП України

Візьмемо до уваги ще одну зразкову іноземну машину - агрегат для вертикального обробітку ґрунту JOHN DEERE 2660VT.



Рисунок 1.9 - Агрегат для Verti Till JOHN DEERE 2660VT

Модель дискової борони 2660 VT від John Deere, представлена у 2019 році, є вибором для різних польових умов. Вона має нову конструкцію рами та може працювати на різних ґрунтах та з великою кількістю рослинних рештків при швидкості 16 км/год. Модельний ряд 2660 VT включає 6 машин із різною робочою шириною від 7,75 до 15,1 м, які можуть бути розділені на 3- або 5-секційні.

Особливістю цієї моделі - регульований кут атаки від 0 до 12°, що дає можливість користувачам пристосовувати глибину обробки ґрунту. Таке регулювання можна здійснити вручну або за допомогою системи TrueSet, яка забезпечує точність на рівні чверті сантиметра. Ця можливість адаптувати агрегат до весняних і осінніх польових робіт і навіть до постійно змінних умов на різних ділянках поля відкриває широкі можливості для фермерів.



Рисунок 1.10 - Диски з подвійним загостренням

Кут атаки дисків на моделі John Deere 2660UT є ключовим фактором у вертикальній обробці ґрунту. Встановлення кута атаки на 0 градусів дозволяє операторам виконувати вертикальну обробку ґрунту та подрібнювати, сортувати та прикочувати залишки.

Зміна кута атаки від 1 до 12 градусів дозволяє більш горизонтальну обробку ґрунту. Чим більший кут, тим більше переміщується ґрунт та глибше закопуються залишки, дозволяючи видаляти невеликі борозни, сліди та бур'яни при більш агресивному куті атаки дисків.

Система вирівнювання ProFinish від John Deere з подвійною конфігурацією котків розроблена для виробників, які бажають досягти високого рівня обробки залишків і залишити гладку, рівну поверхню поля. Передній ножовий вал, що обертається назад, дозволяє котку пасивно утримувати ґрунт та залишки у профілі, додаючи додатковий крок для перемішування, прикочування та закопування залишків.

Ця техніка допомагає подрібнити грудки та залишки для зменшення ерозії восени, розкласти залишки протягом зими, а весною залишити тверде, гладке та рівне посівне ложе.



Рисунок 1.11 - Гідравлічні подвійні прокатні котки

Так, на деяких агрегатах для вертикального обробітку можуть встановлювати дискові ножі, які мають певну сферичність для більш агресивного обробітку ґрунту. Це може бути корисним, особливо для більш вологих та важких ґрунтів, де потрібно більше перемішування та обробітку.

Інженери в сільському господарстві пропонують розвивати та впроваджувати нові технології для покращення обробки ґрунту, щоб вони були більш адаптивними до різних типів ґрунту та умов. Використання дискових ножів із певною сферичністю дозволяє налаштовувати обробку для забезпечення оптимальних умов росту рослин та зменшення ущільнення ґрунту.

Цю інформацію надав доктор сільськогосподарських наук, професор Метт Дарр з Державного Університету штату Айова в США.



Рисунок 1.12—Сферичні диски для вертикального обробітку ґрунту

Види технічного обслуговування, які повинен проходити агрегат

Використовуйте транспортні упори при складанні та розкладанні агрегату.

Забезпечте безпеку та дотримання вказівок на наліпках.

НУБІП України

1. Періодично перевіряйте затягування болтів під час першого сезону роботи та подальших експлуатацій.

НУБІП України

2. Замінюйте або повертайте зношені деталі, якщо потрібно (болти, осі, підшипники, колтери та інше).

3. Перевіряйте та замінюйте гідравлічні шланги при виявленні витоків. Немає повинно бути витоків гідравліки.

НУБІП України

4. Змащуйте підшипники регулярно, але обережно, без зайвого надмірного мастила. Не змащуйте підшипники, які не потребують обслуговування.

5. Перевіряйте зчіпні болти на наявність ослаблення або зносу.

НУБІП України

6. Регулярно перевіряйте тиск у шинах, який вказаний в інструкції експлуатації.

Ці інструкції важливі для збереження безпеки, нормальної роботи та тривалого терміну служби агрегату. Найкраще керуватись вказівками в інструкції, наданій виробником.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

2.1. Обґрунтування удосконалення конструкції

За останні роки все більшу популярність набирають агрегати для вертикального обробітку ґрунту. В таких машинах, як правило, використовують батареї плоских колтерів, на відміну від опуклих дисків, які розташовані паралельно траєкторії руху агрегату. Колтери можуть мати бічні виступи, такі як хвиці або жолобки, щоб зробити робочі органи більш агресивнішими, коли вони прорізають верхній шар ґрунту, руйнують і піднімають його.

Взагалі кажучи, мета роботи колтерів не в тому, щоб перевернути і перемішати значну кількість ґрунту, на відміну від дискових машин, в яких диски зазвичай розташовані під похилим кутом до траєкторії руху машини, а для створення відносно вузьких смуг обробленого ґрунту. Таким чином, агрегати для вертикального обробітку ґрунту з колтерами, що обертаються, зазвичай використовуються навесні як передпосівний інструмент для подрібнення рослинних залишків, що залишилися від попереднього осіннього врожаю, і для підготовки відмінного посівного ложа.

Оскільки агрегати для вертикального обробітку ґрунту з колтерами, які обертаються, мають лише обмежену здатність піднімати і перемішувати ґрунт у бічному напрямку для покриття і заробки залишків, історично склалося так, що для осінньої обробки ґрунту або в інших ситуаціях, коли потрібно значне переміщення ґрунту, необхідно використовувати окремо більше агресивну машину дискового типу. Тим не менш, звичайні дискові машини часто не підходять для легких весняних операцій, особливо перед сівалками, які працюють по технології до-till або mini-till. Отже, у минулому було необхідно мати дві окремі машини для задоволення цих двох різних потреб, тобто агрегат verti-till для весняної підготовки насінневого ложа та дискову машину для осінньої обробки залишків.

З одного боку, даний винахід забезпечує універсальний комбінований агрегат для вертикальної обробки ґрунту та видалення залишків, у якому плоскі колтери можуть бути відрегульовані по куту атаки між положенням вертикальної обробки ґрунту з нульовим кутом, у якому колтери розташовані чітко паралельно шляху руху машини, та похилим положенням кута атаки для видалення залишків, у якому колтери розташовані під кутом до 10 градусів відносно шляху руху агрегату. Переважно, коли батареї дисків знаходяться в положенні для видалення залишків, колтери розташовані під кутом не більше шести градусів. Таким чином, та сама машина для вертикальної обробки ґрунту може використовуватися як для вертикальної обробки ґрунту, так і для більш агресивних операцій з видалення залишків.

Агрегати для вертикального обробітку ґрунту мають збірні ґрунтообробні секції, що обертаються. За допомогою гідравлічних приводів, які знаходяться в тракторі оператора, можна регулювати кут атаки робочих органів.

Ці секції можуть складатись з таких видів - плоских та хвилястих. За допомогою цих робочих органів агрегат може виконувати вертикальний обробіток ґрунту при налаштуванні кута атаки 0° , а для виконання операцій по видаленню рослинних решток – колтери налаштовують на кут атаки до 10° відносно траєкторії руху. Кут атаки 6° є найкращим варіантом у випадку утилізації рослинних решток.

Інші аспекти цього удосконалення не обов'язково обмежуються комбінованою машиною для вертикального обробітку ґрунту та видалення рослинних решток. У цьому відношенні винахід забезпечує дистанційне гідравлічне регулювання кута атаки батареї дисків з сидіння тягача, незалежно від того, чи є ґрунтообробні знаряддя поворотними колтерами, дисками або іншими робочими органами. Гідравлічні приводи безпосередньо з'єднані з передніми секціями, а механічні ланки передають регульовальний рух передніх секцій на набір відповідних задніх секцій для здійснення одночасного регулювання передніх і задніх секцій.

Машина має ліву та праву секції, розташовані на протилежних сторонах передньої та задньої осевої лінії машини. Дві ліві та праві центральні секції, що безпосередньо примикають до протилежних боків передньо-задньої осі, мають кожен свій гідравлічний привід, але механічно з'єднані між собою на своїх

проксимальних внутрішніх кінцях за допомогою пристрою Synchroniz, який забезпечує синхронний рух двох секцій, що окремо приводяться в рух.

Якщо машина є багатосекційним агрегатом з центральною секцією рами і парю лівих і правих шарнірних секцій рами на протилежних сторонах центральної секції, гідравлічний контур для приведення в дію секцій може включати систему Master-slave для кожної лівої та правої половини машини. Ведучий привід на центральній секції рами управляє веденими приводами, що послідовно зменшуються в діаметрі, на відповідній секції крила.

2.2. Силві характеристики та тяговий опір робочих органів агрегату для вертикального обробітку ґрунту

Зусилля, необхідне для переміщення агрегату для вертикального обробітку ґрунту Zeus-6 називають тяговим опором. Воно залежить від форми, розмірів та технічного стану робочих органів, ширини захвату та глибини обробки, стану та типу ґрунту, швидкості руху агрегату, а також від маси агрегату. Зусилля, необхідне для виконання безпосередньо процесу обробки ґрунту, називають корисним опором, а зусилля необхідне для перекочування машини P_1 визначається наступною залежністю

$$P_1 = 9,8 \cdot f \cdot M = 9,8 \cdot 0,5 \cdot 3550 = 17395 \text{ Н} = 17,40 \text{ кН},$$

де f – коефіцієнт пропорційності, що залежить від типу ґрунтів та агрофону ($f \approx 0,5$) і в значній мірі залежить від коефіцієнтів тертя в цапфах та тертя кочення навантажених коліс орного агрегату.

Корисний опір можна представити у вигляді двох складових: опору P_2 , що виникає при деформації пласта, і опору P_3 , що виникає при відкиданні пласта і надання йому кінетичної енергії.

Складова корисного опору опору P_2 визначається наступним чином

$$P_1 = K_1 \cdot a \cdot b = 40000 \cdot 0,02 \cdot 1,54 = 1232 \text{ Н,}$$

де K_1 – коефіцієнт, що характеризує опір деформації пласта ґрунту і становить 20,0...50,0 кН/м²; a – глибина оранки ґрунту, м; b – ширина захвату агрегату однією секцією, м;

Опір P_3 пропорційний площі поперечного перерізу пластів, що відкидаються, і квадрату швидкості руху агрегату. Для його визначення використовується наступна залежність

$$P_3 = \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot v^2 = 6000 \cdot 0,02 \cdot 1,54 \cdot 12^2 = 26610 \text{ Н.} = 26,61 \text{ кН}$$

де ε – коефіцієнт, який характеризує форму робочої поверхні корпусу диска та властивості ґрунту, Нс²/м⁴; v – швидкість руху агрегату.

Загальний, тяговий опір агрегату:

$$P \in P_1 + P_2 + P_3 = 17395 + 1232 + 26610 = 45237 \text{ Н.} = 45,24 \text{ кН.}$$

Аналізуючи останній вираз, можна зробити висновок, що сила P пропорційна значенню поперечного перерізу пласта. З підвищенням швидкості тяговий опір зростає за параболічною залежністю.

У результаті проведених розрахунків тягового опору переміщення агрегату можна дійти висновку, що агрегат для вертикального обробітку ґрунту Zeus-6 агрегується з тракторами К-700, К-701 та Т-150.

2.3. Розрахунок осі на міцність

Креслення осі наведено на рис.2.1.

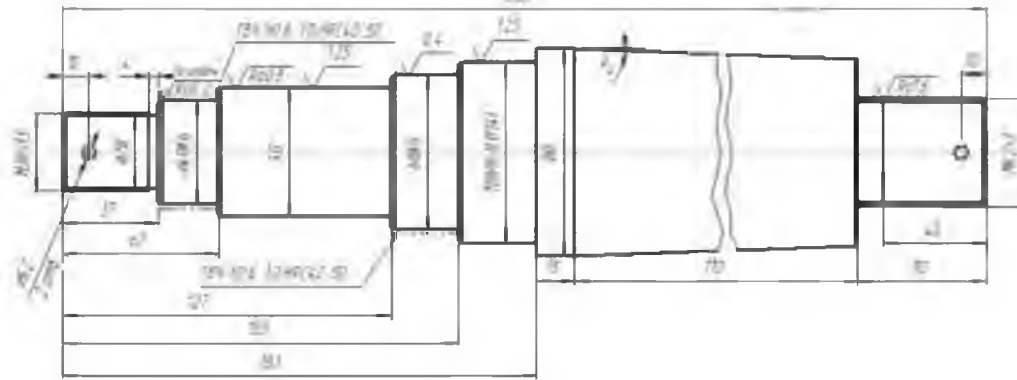


Рисунок 2.1- Креслення піввісі

Для проведення розрахунку півосі на міцність побудуємо схему навантаження рами орного агрегату. Це дозволить знайти навантаження на півосі.

На рис.2.2 точка *A* відповідає місцю зчеплення орного агрегату з трактором, точка *B* - місцю кріплення опорних коліс орного агрегату до рами, точка *C* - центру тяжіння орного агрегату, точка *D* - задньому габариту агрегату.

З урахуванням ударного навантаження, яке діє на дисковий робочий орган введемо коефіцієнт динамічного навантаження, який за попередніми даними становить $K_d=20$.

Навантаження $q=5,5$ кН/м; а з урахуванням коефіцієнта динамічності приймаємо $q=110$ кН/м.

Складемо рівняння моментів відносно точки *A* і прирівняємо його до нуля:

$$\sum M_a = -R_b \cdot 91,5 + q \cdot 100 \cdot \left(\frac{110}{2} + 91,5 + 58 \right) = 0 ;$$

$$R_b = \frac{110 \cdot 100 \cdot \left(\frac{110}{2} + 91,5 + 58 \right)}{91,5} = 27043 \text{ Н.}$$

Знайдемо реакцію R_A із умови рівноваги щодо точки *B*:

$$\sum M_b = q \cdot 100 \cdot \left(\frac{110}{2} + 58 \right) + R_A \cdot 91,5 = 0 ;$$

$$R_a = \frac{q \cdot 110 \cdot \left(\frac{110}{2} + 58\right)}{91,5} = -14943 \text{ Н.}$$

Складемо рівняння рівноваги всіх сил на вісь У для перевірки правильності

розрахунку піввісі:

$$\sum F_y = 0;$$

$$\sum F_y = -R_a - q \cdot 110 + R_b = -14943 + 27043 - 12100 = 0$$

Умова рівноваги виконується, отже розрахунок проведено правильно.

Побудуємо схему навантаження осі. Точка А відповідає розташуванню 1-го підшипника ($D_1=40$ мм.), точка В - 2-й підшипник ($D_2=60$ мм.), точка С - 1-е кріплення, D - 2-е кріплення.

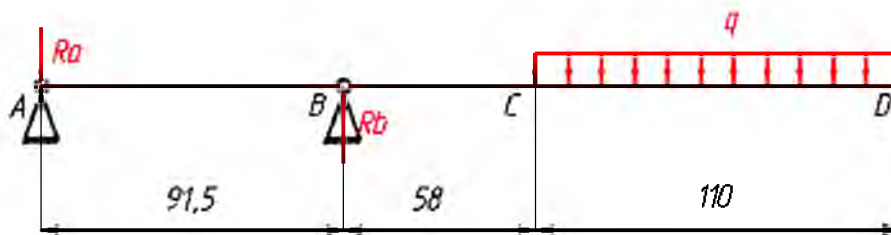


Рисунок 2.2 - Схема навантаження піввісі орногоагрегату

Побудуємо епюру згинальних моментів, що діють на піввісь :

$$M_a = 0 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

$$M_b = -R_a \cdot 91,5 = -14943 \cdot 91,5 = -1367284,5 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

$$M_c = -R_a \cdot (91,5 + 58) - R_b \cdot 58 = -14943 \cdot (91,5 + 58) + 27043 \cdot 58 = -665484,5$$

Н·мм;

$$M_D = -R_a \cdot (91,5 + 58 + 110) + R_b \cdot (58 + 110) - q \cdot (110 + 58) =$$

$$= -14943 \cdot (91,5 + 58 + 110) + 27043 \cdot (58 + 110) + 110 \cdot 128 \cdot \frac{110}{2} = 0 \text{ Н}\cdot\text{мм.}$$

Побудуємо епюру поперечних сил:

$$Q_1 = -R_a = -14943 \text{ кН};$$

$$Q_2 = -Ra + Rb = -14943 + 2703 = 12100 \text{ кН};$$

$$Q_3 = -Ra + Rb = -14943 + 27043 = 12100 \text{ кН};$$

$$Q_4 = 0_{\text{кН}}$$

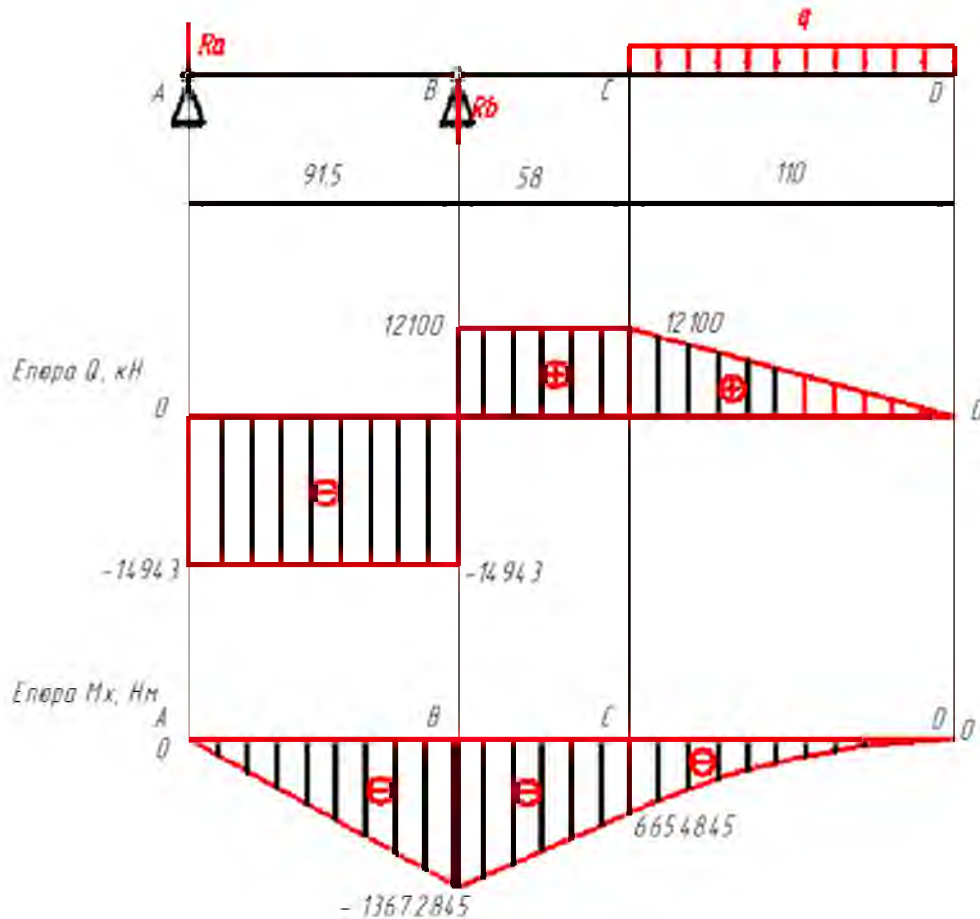


Рисунок 2.3 - Епюра згинальних моментів та поперечних сил, що діють на піввісь

У перерізі В знаходимо діаметр піввісі:

$$d = \sqrt{\frac{32 \cdot M_{np}^c}{\pi \cdot [\sigma]}} = \sqrt{\frac{32 \cdot 1367.2845}{3.14 \cdot 76 \cdot 10^{-6}}} = 5.68 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Приймаємо діаметр піввісі $d = 60 \text{ мм}$.

Небезпечний переріз знаходиться в точці В, тому здійснимо розрахунок перерізу В на опір втомленості:

Осьовий момент опору перерізу визначається за такою формулою:

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 60^3}{32} = 21195 \text{ мм}^3 .$$

Амплітуда напружень циклу визначається за формулою визначення напружень при згині:

$$\sigma_a = \frac{M}{W} = \frac{1367,2845 \cdot 10^3}{21195} = 64,5 \text{ МПа.}$$

Визначимо коефіцієнт запасу міцності осі в перерізі В за наступною формулою:

$$S = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma d} \cdot \sigma_a}$$

де σ_{-1} – межа текучості (для сталі 35 $\sigma_{-1}=220$ МПа), $K_{\sigma D}$ - сумарний коефіцієнт запасу міцності ($K_{\sigma D}=1,74$): В результаті підстановки числових значень отримаємо

$$S = \frac{220}{1,74 \cdot 64,5} = 1,96 > 1$$

Коефіцієнт запасу міцності виконується $S=1,96>1$, отже опір втомленості піввісі в перерізі В забезпечується.

2.4. Вибір підшипників кочення за динамічною вантажопідйомністю

Вихідні дані для розрахунку підшипників

Сумарне радіальне навантаження на лівій (першій) опорі, вісі – $F_{r1} = 27043$ Н

на правій (другій) опорі – $F_{r2} = 14943$ Н

Кутова швидкість одного з кілець підшипника - $\omega = 3$ рад/с

Строк служби підшипників – $L_h = 12000$ год

Діаметр вала – $d = 45$ мм

Температура підшипникових вузлів $t \leq 100^\circ\text{C}$

Вибираємо підшипник роликовий радіальний дворядний 3209 ГОСТ 28428-90, діаметр внутрішній $d = 45$ мм, зовнішній $D = 85$ мм, ширина $B = 30,2$ мм, динамічна вантажопідйомність $C = 47500$ Н, статична вантажопідйомність $C_0 = 38000$ Н, гранична частота обертання $n_{gr} = 5000$ об/хв

Потрібну динамічну вантажопідйомність обчислюють для радіальних та радіально-упорних підшипників за такою залежністю:

$$C_{догр} = Q \cdot L^{\frac{1}{\alpha}} = 29747,3 \cdot 206,4^{\frac{1}{3,33}} = 73508 \text{ Н}$$

де Q – еквівалентне динамічне навантаження, Н,

L – номінальна довговічність підшипника, млн. обертів;

α – показник степені, причому $\alpha = 3$ для кулькових підшипників

Номінальну довговічність підшипника визначають з такою формулою.

$$L = \frac{573,2 \cdot \omega \cdot L_h}{10^6} = \frac{573,2 \cdot 3 \cdot 12000}{10^6} = 206,4 \text{ млн. об.}$$

де ω – розрахункова кутова швидкість одного з кілець підшипника, рад/с;

L_h – довговічність підшипника в годинах роботи, звичайно вона дорівнює

строку служби машини або агрегату, для яких підбирають підшипники. Інколи,

якщо це економічно вигідно, приймають довговічність підшипника кратну строку служби агрегата або машини.

Еквівалентне навантаження визначається наступною залежністю

$$Q = X \cdot F_{r2} \cdot K_6 \cdot K_t = 1 \cdot 27046 \cdot 1,1 \cdot 1 = 29747,3 \text{ Н}$$

F_{r2} – сумарне радіальне навантаження (визначається за формулою (3.1.)),

Н;

X – коефіцієнт радіального навантаження;

K_6 – коефіцієнт безпеки (табл. 7.8.), який враховує вплив характеру

навантаження на довговічність підшипника;

K_t — температурний коефіцієнт, який враховує вплив температури підшипникового вузла на довговічність підшипника. Для підшипникових вузлів, що застосовують у сільськогосподарському машинобудуванні, при $t \leq 100$ С приймають

$K_t = 1.0$.

Оскільки підшипник 3209 не задовольняє умови роботи, обираємо підшипник з більшою вантажопідйомністю.

Підшипник 3609: діаметр внутрішній $d = 45$ мм, зовнішній $D = 100$ мм, ширина

$B = 36$ мм, динамічна вантажопідйомність $C = 114000$ Н, статична вантажопідйомність $C_0 = 74800$ Н, гранична частота обертання $n_{gr} = 3800$ об/хв.

Вибраний підшипник відповідає встановленим вимогам до всіх наведених характеристик.

РОЗДІЛ 3. ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ОРНОГО АГРЕГАТУ

3.1. Основні положення моделювання динаміки орного агрегату

Для сучасного машинобудування характерні тенденції до підвищення продуктивності машин, зокрема і орних агрегатів, яка пропорційно пов'язана зі збільшенням швидкості руху та скороченням тривалості перехідних процесів (пуск, гальмування, аварійна зупинка та зміна швидкості руху), а також зростанням робочих навантажень, точності виконання робочих операцій, надійності роботи та економічності орного агрегату. Тому висувуються підвищені вимоги до методів розрахунку окремих елементів і систем, що використовуються при конструюванні та проектуванні орних агрегатів і, зокрема, робочих органів.

Широко розповсюджені статичні методи розрахунку в одних випадках ведуть до невиправданого підвищення коефіцієнту запасу міцності і, як наслідок, до збільшення габаритних розмірів та орних агрегатів, а в інших випадках приводить до створення недостатньо надійних конструкцій тягового трактора та орного агрегату, які виходять з ладу при динамічних перевантаженнях, особливо при проходженні перехідних процесів.

Задовольнити найкращим чином всі вимоги до роботи тягового трактора і орного агрегату можна тільки при сумісному аналізі їхніх режимів руху з урахуванням основних кінематичних, силових, енергетичних та конструктивних факторів.

Погодження конструкторських розробок з послідовним розв'язуванням задач динаміки дозволяє вже на стадії проектування орного агрегату вибрати його раціональну схему, оцінити точність виконання робочих процесів, енергетичні витрати, характеристики міцності та ергономічності.

Під час роботи орного агрегату, особливо на ділянках перехідних процесів, в елементах конструкції виникають коливання, які сприяють до підвищення динамічних навантажень в елементах конструкції, тягового трактора та орного агрегату. Це сприяє накопиченню втомних напружень в конструкції і, як наслідок, передчасному її руйнуванню та негативно впливає на безпечну експлуатацію трактора і орного агрегату в цілому. Вирішення поставленої задачі можливе шляхом оптимізації режиму руху приводного механізму базового трактора на ділянках перехідних процесів, що дозволить мінімізувати коливання елементів конструкції і, як наслідок, приводить до підвищення надійності, зменшення енергетичних витрат та підвищення продуктивності і якості виконання технологічних операцій (оранки ґрунту).

Орний агрегат разом з тяговим трактором при русі на ділянках перехідних процесів (пуск, аварійна зупинка, зміна швидкості руху) характеризуються наявністю динамічних навантажень, що виникають в конструкції, елементах базового трактора та орному агрегаті. В з'єднанні тягового трактора і орного агрегату виникає нерівномірний рух, який пов'язаний із умовами роботи орного агрегату та змінними властивостями ґрунту, а також через властивості самої системи з'єднання орного агрегату з базовим трактором та конструкції робочого органу. Вони негативно впливають на елементи конструкції орного агрегату та тягового трактору, і призводять до передчасного руйнування орного агрегату та трактора, підвищення енергозатрат, погіршення роботи орного агрегату в цілому. При переході від реальної конструкції орного агрегату з тяговим трактором до їхньої моделі нехтують тими фізичними факторами, які несуттєві для даного розрахунку або дослідження [1]. В загальному випадку при складанні моделі орного агрегату з

тяговим трактором необхідно враховувати зосереджені маси, розподілені маси по довжині протяжних елементів, пружність елементів, залежності рушійних та гальмівних сил приводного двигуна трактора від частоти обертання колінчастого вала, зміну зведених мас орного агрегату та тягового трактора.

У кожному конкретному випадку одні фізичні фактори є головними, а інші – другорядними. Модель орного агрегату з тяговим трактором не повинна бути досить складною, вона повинна враховувати основні елементи конструкції орного агрегату та тягового трактора з урахуванням механічної характеристики приводного двигуна, елементів конструкції та системи рушія трактора, а також його основні механічні властивості, бути нескладною з метою спрощення розрахунків.

Розв'язування задач динаміки орного агрегату з тяговим трактором починається зі збору фактів та даних виробничих і наукових спостережень. На їх основі проводиться формалізація роботи та руху

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

орного агрегату з тяговим трактором і будується їхня математична модель. При цьому виділяються їхні найбільш суттєві характеристики та властивості й проводиться їх опис за допомогою математичних рівнянь і формул.

Побудована математична модель орного агрегату з тяговим трактором може слугувати основою для дослідження їхніх динамічних та енергетичних характеристик.

3.2. Динамічна модель орного агрегату

Динаміка машин — це розділ прикладної механіки про машини, який присвячений дослідженню динамічних процесів, що проходять при роботі машин, зокрема орного агрегату з тяговим трактором. Задовольнити найкращим чином всі вимоги до роботи орних агрегатів з тяговим трактором можна тільки при сумісному аналізі їхніх режимів руху з урахуванням основних кінематичних, силових та енергетичних характеристик. Це входить у задачу прикладної динаміки машин, яка складає фундаментальну основу їхнього конструювання та розрахунку. Погодження конструкторських розробок з послідовним розв'язуванням задач динаміки дозволяє вже на стадії проектування орного агрегату з тяговим трактором вибрати його раціональну схему, оцінити точність виконання технологічних процесів оранки ґрунту, енергетичні витрати, характеристики міцності та надійності орних агрегатів.

Кінетостатичні методи розрахунку, які розглядаються в курсі теорії механізмів і машин при умові абсолютно жорстких ланок та заданому законі руху ведучої ланки, недостатньо точно враховують реальні умови роботи орних агрегатів та їх складових елементів. Необхідні експлуатаційні та відповідні динамічні властивості (якості) орних агрегатів можна забезпечити тільки тоді, коли при проектуванні будуть враховані динамічні процеси, що проходять під час робочого процесу оранки ґрунту, вплив масових, силових характеристик та

пружності ланок, а також зовнішніх навантажень та дисипації енергії, яка має місце в процесі оранки ґрунту різними робочими органами.

Динамічні властивості орних агрегатів та тягового трактора визначають стійкість руху робочих органів (дисків колтерів) та їхніх ланок при зовнішніх

навантаженнях, які змінюються в процесі оранки ґрунту. Ці властивості

залежать від параметрів пружної системи, власних частот коливань, динамічної піддатливості ланок та схем їхнього навантаження. Автоматичне керування

орним агрегатом і тяговим трактором може здійснюватися за постійними або попередньо розробленими законами, а також за законами, які

виробляються самою системою керування у відповідності з поточними значеннями параметрів, що визначають хід процесу оранки ґрунту та

прийнятим критерієм керування цим процесом.

При побудові динамічної моделі орного агрегату з тяговим трактором

враховується основний рух трактора, який створюється приводним механізмом двигуна та рушійми, що взаємодіють з ґрунтом та рухи, які створюються за

рахунок пружних властивостей окремих елементів орного агрегату. Будемо

вважати, що всі елементи орного агрегату є абсолютно твердими тілами, окрім

з'єднувальних елементів трактора з орним агрегатом, які володіють пружними властивостями. В цьому випадку динамічна модель орного агрегату з тяговим

трактором буде мати два ступені вільності і її можна представити у вигляді двомасової моделі. Обидві маси такої динамічної моделі орного агрегату та

трактора зведемо до переміщення трактора. Оскільки тяговий трактор здійснює

поступальний рух, то і зведені маси трактора та орного агрегату також будуть здійснювати поступальний рух. Ці маси з'єднуються між собою за допомогою

пружного елемента, жорсткість якого визначається жорсткістю елементів з'єднувального пристрою орного агрегату з трактором. На масу трактора діє

рушійна сила приводного двигуна, яка приведена до приводних коліс трактора, а на масу орного агрегату діє зведена сила від взаємодії робочих органів (дисків

колтерів) з оброблюваним ґрунтом. Зведена сила опору буде залежати від

властивостей ґрунту, а також від конструкції робочих органів і втрат енергії в передавальному механізмі тягового трактора

До першої зведеної маси ввійдуть тяговий трактор та елементи передавального механізму від колінчастого валу до приводних коліс, а до

другої маси – орний агрегат з робочими дисками та рамна конструкція. Для такої динамічної моделі орного агрегату з тяговим трактором необхідно визначити всі динамічні параметри, до яких відносяться зведені маси першої та

другої зведених мас, коефіцієнт жорсткості пружного елемента, залежність зведеної рушійної сили приводного двигуна від частоти його обертання, а

також залежність зведеної сили опору переміщенню орного агрегату. Для

дослідження динаміки руху орного агрегату з тяговим трактором розроблено динамічну модель, яка представлена на рис. 3.1. В цій моделі за зведені маси

використані маси тягового трактора та робочого обладнання орного агрегату.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

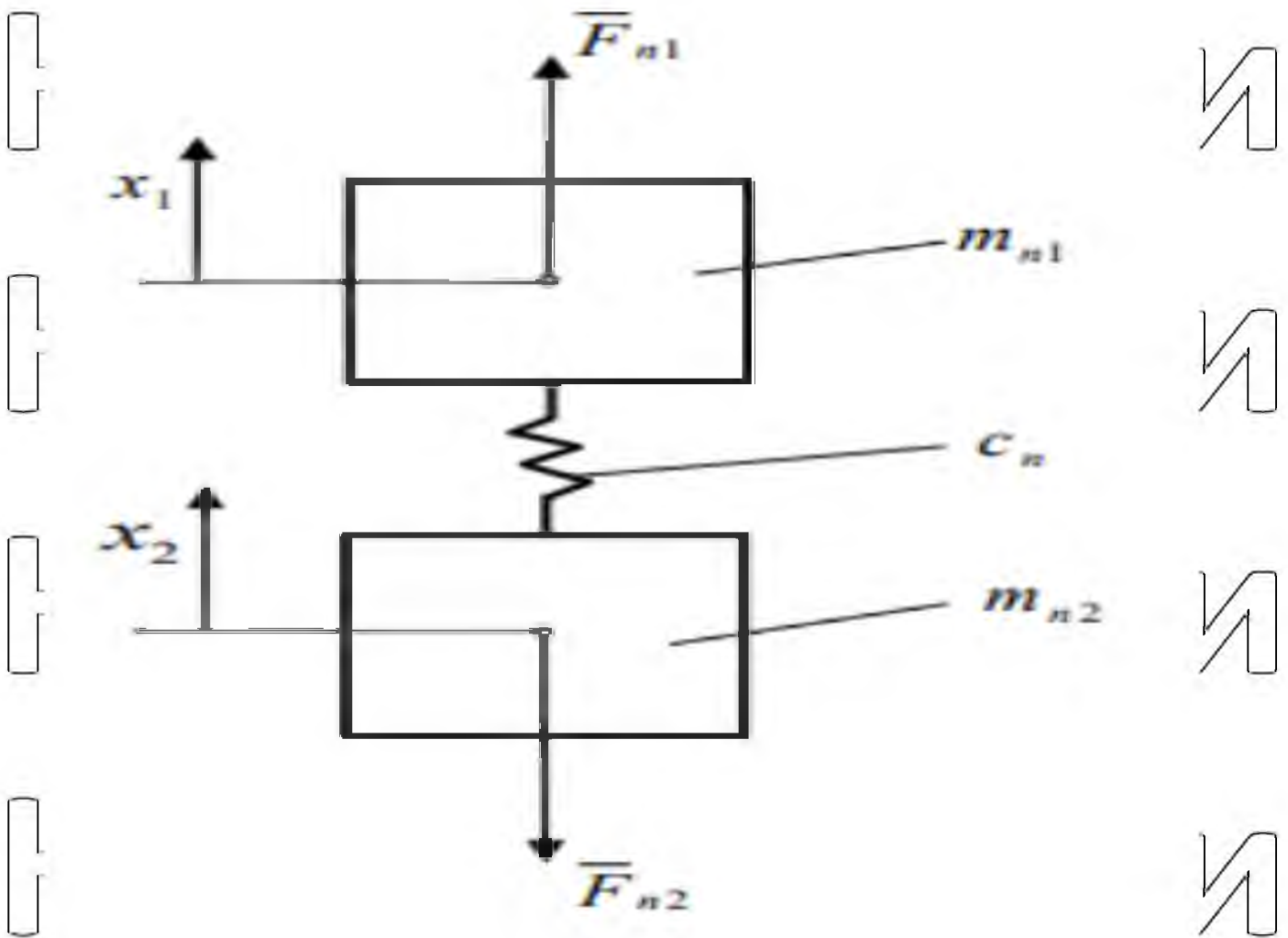


Рисунок 3.1 – Спрощена динамічна модель орного агрегату

В динамічній моделі (рис. 3.1) зробимо деякі позначення: першу масу позначимо через m_{n1} , а другу – m_{n2} . До першої маси прикладемо приведену рушійну силу F_{n1} , а до другої – приведену силу опору F_{n2} . Перша та друга маси з'єднані між собою пружним елементом з приведеною жорсткістю c_n . За узагальнені координати цієї моделі обираємо координати центрів мас першої x_1 та другої x_2 приведених мас.

Параметр m_{n1} , m_{n2} , F_{n1} , F_{n2} , c_n називаються параметрами динамічної моделі. Приведена маса m_{n1} визначається з умови рівності кінетичних енергій першої частини механізму T_{p1} і першої частини динамічної моделі T_{M1} (рис. 3.1), тобто

$$T_{p1} = T_{M1} \quad (3.1)$$

1.1. Кінетична енергія реальної частини тягового трактора:

$$\begin{aligned} T_{p1} &= \frac{1}{2} * I_1 * \omega_1^2 + \frac{1}{2} * I_2 * \omega_1^2 + \frac{1}{2} * I_3 * \omega_1^2 + \frac{1}{2} * I_4 * \omega_1^2 + \frac{1}{2} * I_5 * \omega_2^2 + \frac{1}{2} * I_6 * \omega_2^2 \\ &= \frac{1}{2} * (I_1 + I_2 + I_3 + I_4) * \omega_1^2 + \frac{1}{2} * (I_5 + I_6) * \omega_2^2 \\ &= \frac{1}{2} * (I_1 + I_2 + I_3 + I_4) * \frac{4 * x_1^2}{D^2} * u_p^2 + \frac{1}{2} * (I_5 + I_6) * \frac{4 * x_1^2}{D^2} = \\ &= \frac{2 * x_1^2}{D^2} * ((I_1 + I_2 + I_3 + I_4) * u_p^2 + I_5 + I_6), \end{aligned} \quad (3.2)$$

де I_1, I_2, I_3 - моменти інерції відповідно ротора двигуна, муфти та гальмівного шківів відносно власних осей обертання; $I_4 = \delta I_1$ - момент інерції елементів передавального механізму приводу трактора, зведений до осі обертання ротора двигуна; $\delta = 0,05 \dots 0,1$ - коефіцієнт, що враховує долю зведеного моменту інерції ланок передавального механізму приводу трактора відносно моменту інерції ротора двигуна; I_5, I_6 - моменти інерції відповідно жорсткої муфти та барабана відносно власних осей обертання.

1.2. Кінетична енергія першої частини моделі представляється залежністю

$$T_{M1} = \frac{1}{2} * m_{п1} * x_1^2. \quad (3.3)$$

1.3. Використавши умову (3.1), отримаємо:

$$\frac{2 * x_1^2}{D^2} * ((I_1 + I_2 + I_3 + I_4) * u_p^2 + I_5 + I_6) = \frac{1}{2} * m_{п1} * x_1^2. \quad (3.4)$$

1.4. З рівняння знаходимо:

$$m_{п1} = \frac{4}{D^2} * ((I_1 + I_2 + I_3 + I_4) * u_p^2 + I_5 + I_6) =$$

$$= \frac{4}{D^2} * ((I_1 + I_2 + I_3 + I_4) * u_p^2 + I_5 + I_6)$$

$$= \frac{1}{0,32^2} * ((1,3 + 0,3 + 0,4 + 0,05) * 10^2 + 1,8 + 0,6) = 8101 \text{ кг.} \quad (3.5)$$

Аналогічно визначається приведена маса $m_{п2}$ з умови рівності кінетичних енергій другої частини механізму T_{p2} та другої частини моделі, тобто

$$T_{p2} = T_{M2}. \quad (3.6)$$

1.5. Виразимо швидкість орного агрегату v $v = \frac{\dot{x}_2}{u_{п}}$

Тоді

$$T_{p2} = \frac{1}{2} * (m + m_{зп}) * v^2 = \frac{1}{2} * \left(\frac{7400}{2}\right) * \dot{x}_2^2 = 925 * \dot{x}_2^2, \quad (3.7)$$

де m , $m_{зп}$ - маси відповідно робочого органу та рамної конструкції орного агрегату.

1.6. Кінетична енергія другої частини моделі:

$$T_{M2} = \frac{1}{2} * m_{п2} * \dot{x}_2^2. \quad (3.8)$$

1.7. Прирівнявши вирази, отримаємо:

$$m_{п2} = \frac{m + m_{зп}}{u_{п}^2} = \frac{7400}{4} = 1850 \text{ кг.} \quad (3.9)$$

1.8. Приведену силу $F_{п1}$ визначимо з умови рівності потужностей сил із першої частини механізму P_{p1} і моделі P_{M1}

$$P_{p1} = P_{M1};$$

$$P_{p1} = F_{п1} * \frac{\dot{x}_1}{\eta_{1-6}}; \quad P_{M1} = M_1 * \omega_2 = M * \frac{2 * \dot{x}_1^2}{D} * u_p;$$

$$P_{M1} = F_{п1} * \frac{\dot{x}_1}{\eta_{1-6}}. \quad (3.10)$$

Підставивши вирази (3.10), отримаємо

$$F_{П1} = \frac{2 \cdot M \cdot u_p}{D} \cdot \eta_{1-6}, \quad (3.11)$$
 де M – рушійний момент на валу двигуна трактора, який визначається з його механічної характеристики; η_{1-6} – к.к.д. передачі від двигуна до приводних коліс трактора

1.9. Приведену силу $F_{П2}$ визначають з умови рівності потужностей сил другої частини механізму P_{P2} і моделі P_{M2} :

$$P_{P2} = P_{M2};$$

$$P_{P2} = (m + m_{зп}) \cdot g \cdot \frac{x_2^2}{u_p};$$

$$P_{M2} = F_{П2} \cdot x_2 \cdot \eta_{7-8}. \quad (3.12)$$

1.10. Після підстановки виразів (3.12) будемо мати

$$F_{П2} = \frac{(m + m_{зп}) \cdot g}{u_p \cdot \eta_{7-8}} = \frac{72\,594}{4} = 18\,150 \text{ Н}. \quad (3.13)$$

де $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння; η_{7-8} – к.к.д. робочого органу

Визначення коефіцієнта жорсткості з'єднувального пристрою трактора з орним агрегатом в процесі руху.

1.11. В процесі руху орного агрегату в елементах з'єднувального пристрою будуть різні зусилля, які визначаються залежностями:

$$F_1 = F_0 \cdot \eta$$

$$F_2 = F_1 \cdot \eta = F_0 \cdot \eta^2$$

$$F_3 = F_2 \cdot \eta = F_0 \cdot \eta^3 \quad (3.14)$$

1.12. Тоді деформації кожного з елементів з'єднувального пристрою визначаються за законом Гука такими виразами:

$$\Delta l_0 = \frac{F_0 \cdot l}{EA}$$

$$\Delta l_1 = \frac{F_0 \cdot \eta \cdot l}{EA};$$

$$\Delta l_2 = \frac{F_0 * l * \eta^2}{EA} \quad (3.15)$$
 а сумарна деформація ланок з'єднувального пристрою з урахуванням виразів (3.15) має вигляд

$$\Delta l = \Delta l_0 + \Delta l_1 + \Delta l_2 + \dots + \Delta l_{m-1} (1 + \eta + \eta^2 + \dots + \eta^{m-1})$$

$$\Delta l = \frac{F_0 * l}{EA} * \frac{1 - \eta^m}{1 - \eta} \quad (3.16)$$

1.13. Після цього знаходимо коефіцієнт жорсткості з'єднувального пристрою

$$c = \frac{F_0}{\Delta l} = \frac{F_0 * EA * (1 - \eta^m)}{F_0 * l * (1 - \eta)} = \frac{EA * (1 - \eta^m)}{l * (1 - \eta)} = \frac{1,2 * 10^{11} * 11,3 * 10^{-5}}{10 * (1 - 0,975)} = 7,64 * 10^5 \frac{H}{m} \quad (3.17)$$

3.3. Математична модель орного агрегату

Для побудови математичної моделі орного агрегату скористаємось його динамічною моделлю, яка приведена на рис.3.1. Наведена динамічна модель має основні параметри.

При визначенні динамічних навантажень, що виникають в з'єднувальному пристрої, використовується динамічна модель, яка має вигляд, представлений на рис.3.1. Параметрами цієї моделі є: $m_{п1}$, $m_{п2}$ - приведені маси відповідно першої (до пружного елемента) та другої (після пружного елемента) частин механізму орного агрегату, $F_{п1}$, $F_{п2}$ - приведені сили відповідно першої та другої частин механізму орного агрегату; $c_{п1}$ - приведена до першої маси жорсткість з'єднувального пристрою системи; x_1 , x_2 - узагальнені координати першої та другої зведених мас динамічної моделі.

1.14. Виписати кінцеві формули для визначення параметрів динамічної моделі, які були знайдені в попередніх розділах магістерської роботи.

1.15. Вказати можливі методи побудови математичних моделей і вибрати один з цих методів для побудови математичної моделі наведеної динамічної

моделі орного агрегату з тяговим трактором

1.16. До методів побудови математичних моделей можна віднести такі методи:

- принцип динамічної рівноваги, який ще має назву принципу

Даламбера;

- принцип можливих переміщень;
- принцип Гамільтона-Остроградського;
- рівняння Лагранжа другого роду;
- рівняння Аппеля.

Для розглянутої двомасової динамічної моделі (рис. 3.1) найбільш доцільним методом побудови математичної моделі можна вважати метод динамічної рівноваги.

1.17. Побудувати математичну модель динаміки руху орного агрегату обраним методом динамічної рівноваги.

Суть методу динамічної рівноваги полягає в тому, що розглядається динамічна рівновага кожної з приведених мас і для них складаються відповідні рівняння рівноваги.

Розчленуємо дві маси динамічної моделі на окремі маси і замінимо в'язь пружного елементу реакцією в'язи. Крім того, до кожної з мас прикладемо сили інерції. В результаті таких перетворень динамічна модель (рис. 3.1) набуде вигляду, який представлено на рис. 3.2.

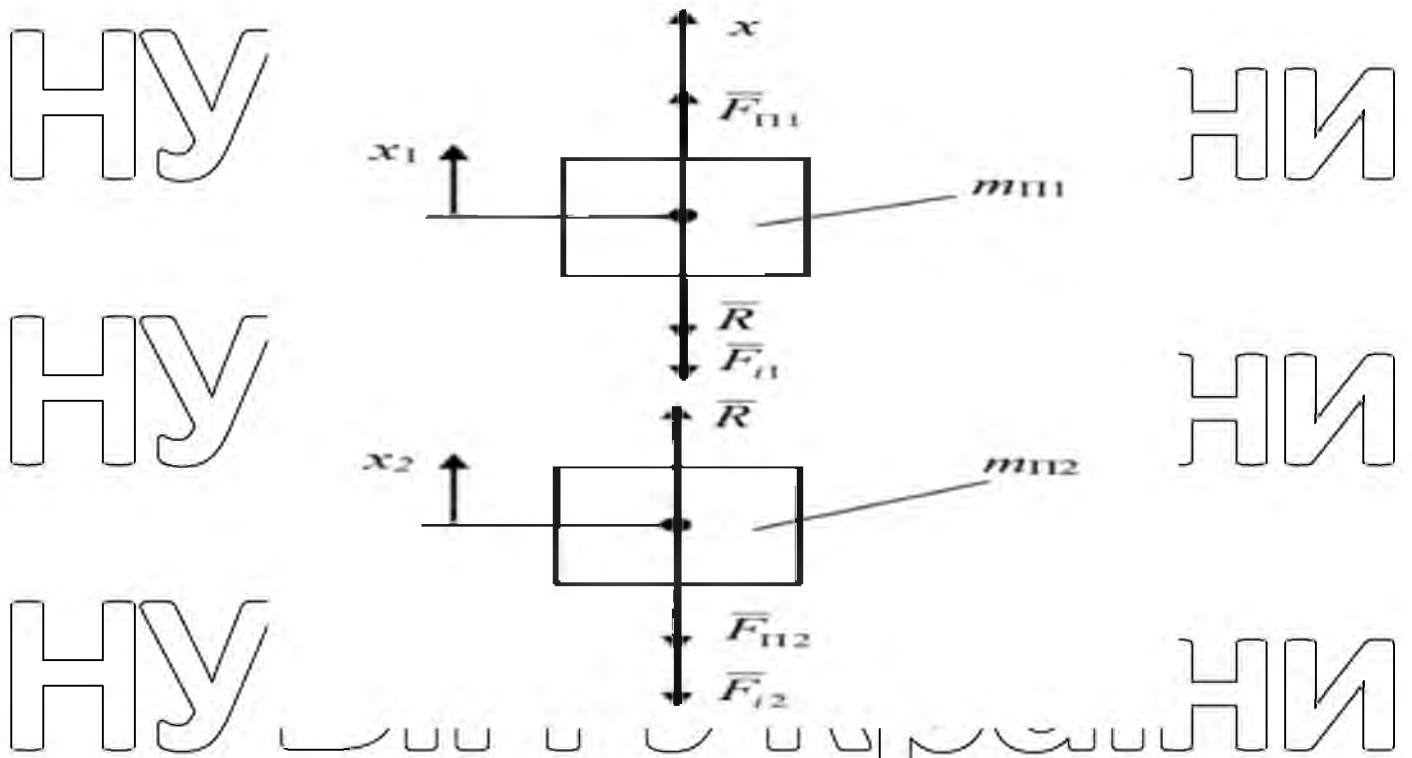


Рисунок 3,2 – Рівновага мас динамічної моделі

Після цього розглянемо динамічну рівновагу кожної з мас. Для цього спроектуємо всі сили, що діють на кожну з мас на вертикальну вісь, оскільки всі сили діють вздовж вертикальної осі запишемо для них рівняння рівноваги. В результаті чого будемо мати:

для першої маси

$$F_{11} - R - F_{11} = 0; \quad (3.17)$$

для другої маси

$$R - F_{12} - F_{12} = 0; \quad (3.18)$$

Розв'язуючи спільно рівняння (3.17) та (3.18), знайдемо закон руху механізму підйому для динамічної моделі, що наведена на рис. 3.1.

У рівняннях (3.17) та (3.18) вирази реакції та сил інерції мають вигляд:

$$R = C_{\Pi} * (x_1 - x_2); \quad (3.19)$$

$$F_{i1} = m_{\Pi 1} * \ddot{x}_1; \quad (3.20)$$

де x_1, \ddot{x}_2 – прискорення відповідно першої та другої мас

$$F_{i2} = m_{п2} * \ddot{x}_2, \quad (3.21)$$

Після підстановки виразів (3.19), (3.20) та (3.21) у рівняння (3.17) та (3.18) отримаємо систему диференціальних рівнянь, які будуть представляти математичну модель динаміки руху орного агрегату:

$$\begin{cases} F_{п1} - C_{п} * (x_1 - x_2) - m_{п1} * \ddot{x}_1 = 0 \\ C_{п} * (x_1 - x_2) - F_{п2} - m_{п2} * \ddot{x}_2 = 0 \end{cases}$$

Зробивши деякі перетворення, отримаємо кінцевий вигляд математичної моделі динаміки руху механізму підйому вантажу:

$$\begin{cases} m_{п1} * \ddot{x}_1 = F_{п1} - C_{п} * (x_1 - x_2) \\ m_{п2} * \ddot{x}_2 = -F_{п2} + C_{п} * (x_1 - x_2) \end{cases} \quad (3.22)$$

В систему рівнянь (3.22) необхідно ввести вирази приведених мас $m_{п1}$ та $m_{п2}$, приведених сил $F_{п1}$ та $F_{п2}$ і коефіцієнта жорсткості $C_{п}$.

В результаті розв'язку системи (3.22) з урахуванням виразів $m_{п1}, m_{п2}, F_{п1}, F_{п2}$ і $C_{п}$ отримуємо закон динаміки руху орного агрегату представленого двомасовою динамічною моделлю.

Представлення системи диференціальних рівнянь руху в формі, зручній для їхнього інтегрування

Вибір методу розв'язування системи диференціальних рівнянь руху механізму підйому вантажу.

Оскільки представлена система диференціальних рівнянь руху є нелінійною за рахунок нелінійності механічної характеристики приводного двигуна трактора, то для їхнього розв'язування доцільно використати чисельні методи з

використанням комп'ютерної техніки. Зокрема, тут може бути використана програма «Mathematics» або інші програми Matlab.

Виведення на друк у вигляді графічних залежностей результатів чисельного розв'язування системи нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку, що описують динаміку руху механізму підйому вантажу.

На основі розв'язку системи диференціальних рівнянь руху визначити кінематичні, силові та енергетичні характеристики в ланках орного агрегату.

До таких характеристик можна віднести залежності переміщень, швидкостей та прискорень першої та другої зведених мас, рушійного моменту та потужності на валу приводного двигуна, зусилля в з'єднувальному пристрої, що з'єднує зведені маси, та швидкості його зміни в часі на ділянках пуску, усталеного руху. Крім того, доцільно визначати абсолютні максимальні значення цих характеристик в процесі руху, а також побудувати фазові портрети коливань у з'єднувальному пристрої.

Виведення на друк в необхідному форматі графічних залежностей динамічного аналізу орного агрегату.

3.4. Результати динамічного аналізу орного агрегату

Для проведення динамічного аналізу орного агрегату розроблено комп'ютерну програму розрахунку математичної моделі динаміки руху орного агрегату, яка наведена нижче по тексту.

Н

```

Mmax = λ * M1;
u = 10; (*передаточне чистото*) η = 0.96;
ω0 = 62.83;
ωn = 59.69;
c = 7.64 * 10^5;
d = 0.32;
d1 = 0.012;
M1 = 753.9;
F2 = 18150;
sn = 1 - ωn / ω0;
sk = sn * (λ + Sqrt[λ^2 - 1])
      квадратний корінь

```

раїни

Н

```

m1 = 8101;
m2 = 1850;
p = 45000;
h = 10;
v = 0.5;
q = 7000;
λ = 3.0;

```

раїни

Н

```

eq1 = m1 * x1''[t] == F1 - c * (x1[t] - x2[t]);
eq2 = m2 * x2''[t] == F2 - c * (x1[t] - x2[t]);
T = 12;
F = c * (x1[t] - x2[t]);
F1 = (2 * M * u * η) / d;
s = 1 - (2 * x1'[t] * u) / (d * ω0);
M = (2 * Mmax) / (s / sk + sk / s);
Sol1 = NDSolve[{m1 * x1''[t] == F1 - c * (x1[t] - x2[t]),
               m2 * x2''[t] == -F2 + c * (x1[t] - x2[t]), x1[0] == 0, x1'[0] == 0,
               x2[0] == 0, x2'[0] == 0}, {x1, x2}, {t, T}, MaxSteps -> 5000000];
      чисельні розв'язки диференціальних рівнянь
      максимальне число кроків

```

раїни

Н

```

- 0.291282
- 0.04997612605443269 * (λ + Sqrt[-1 + λ^2])
- 0.291282

```

раїни

НУБІП України

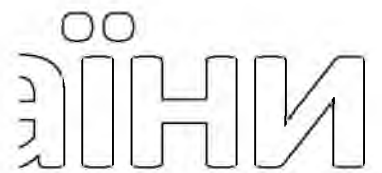
НУБІП України

НУБІП України

```

p1 = Plot[Evaluate[x1''[t] /. Sol1], {t, 0, T},
  PlotStyle -> {Black, Thickness[0.003]}, ImageSize -> 400,
  AxesStyle -> FontSize -> 12,
  AxesLabel -> {Text[Style["t,c", FontSize -> 13, Italic]],
    Text[Style["x1'', м/с²;", FontSize -> 13, Italic]]}, AxesOrigin -> {0, 0},
  PlotRange -> All, AspectRatio -> 0.8]

```



```

p11 = Plot[Evaluate[x1'[t] /. Sol1], {t, 0, T},
  PlotStyle -> {Black, Thickness[0.003]}, ImageSize -> 400,
  AxesStyle -> FontSize -> 12,
  AxesLabel -> {Text[Style["t,c", FontSize -> 13, Italic]],
    Text[Style["x1', м/с;", FontSize -> 13, Italic]]}, AxesOrigin -> {0, 0},
  PlotRange -> All, AspectRatio -> 0.8]

```



$x1'' \cdot m/c^2$:

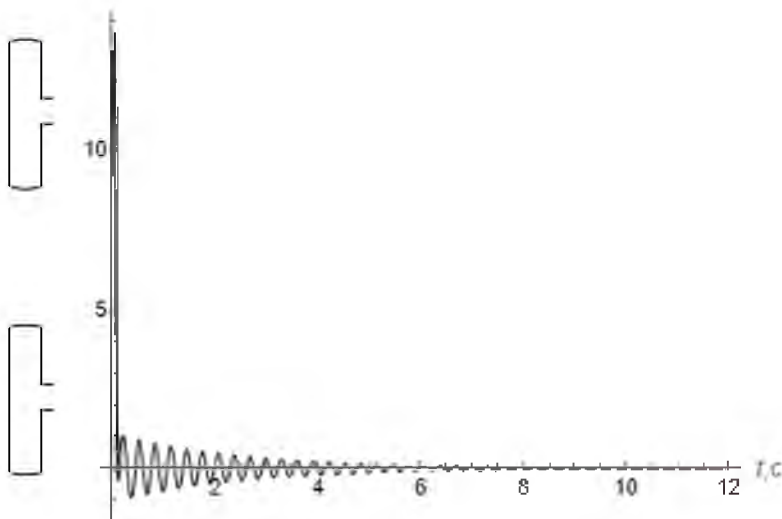
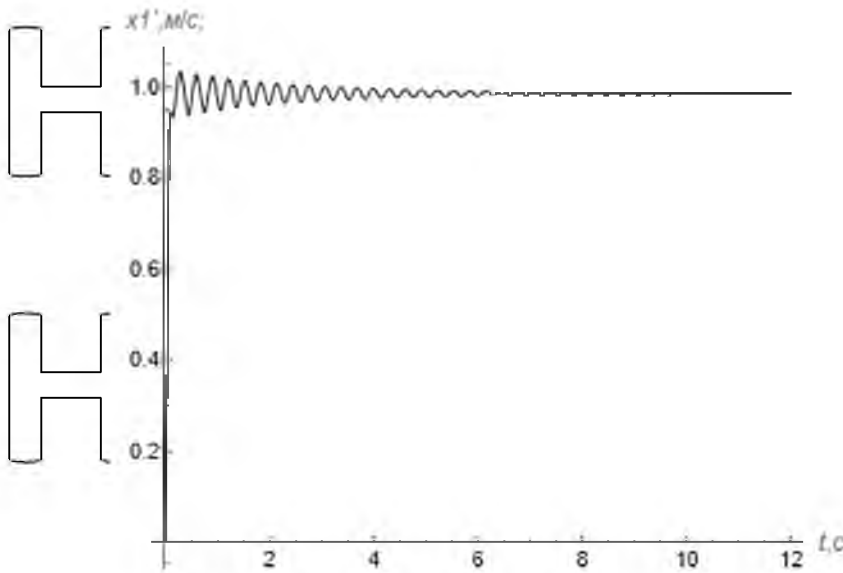


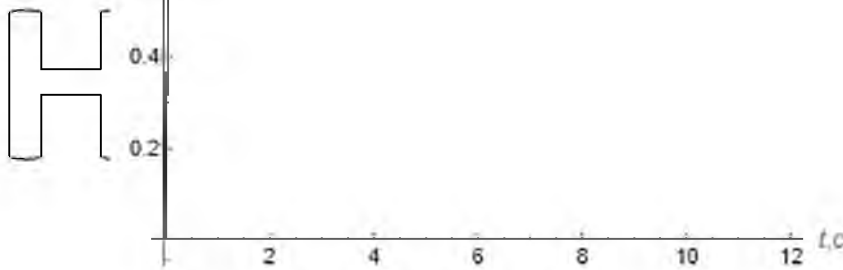
Рисунок 3.3 – Графік прискорення першої маси моделі

НУБІП України

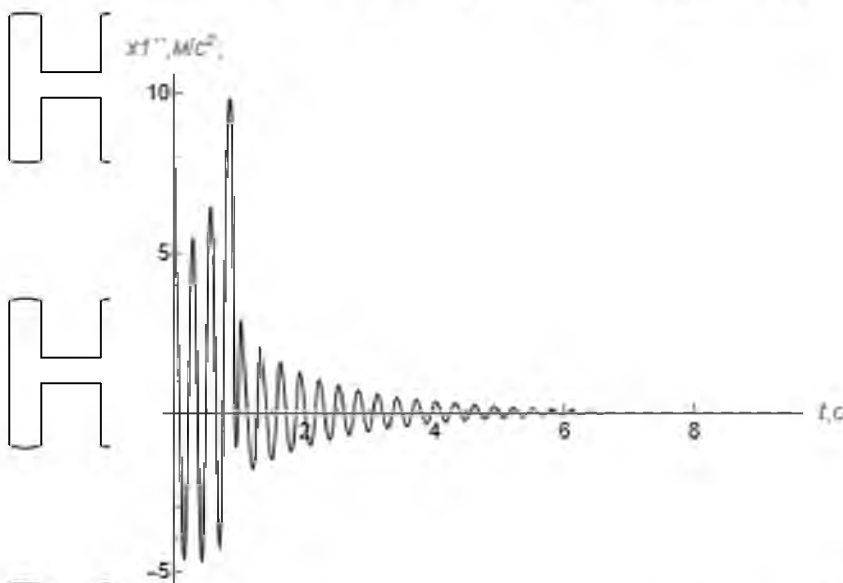
НУБІП України



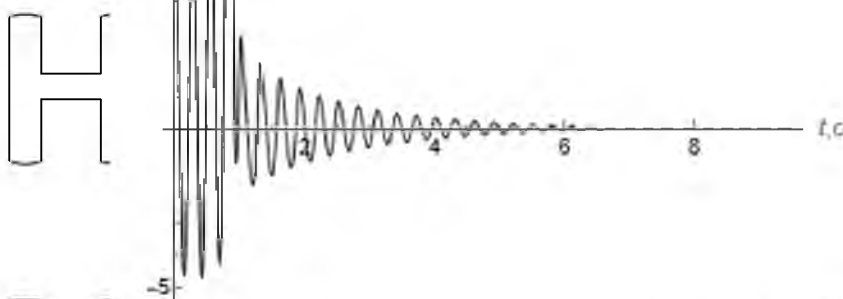
ІНІ



ІНІ



ІНІ



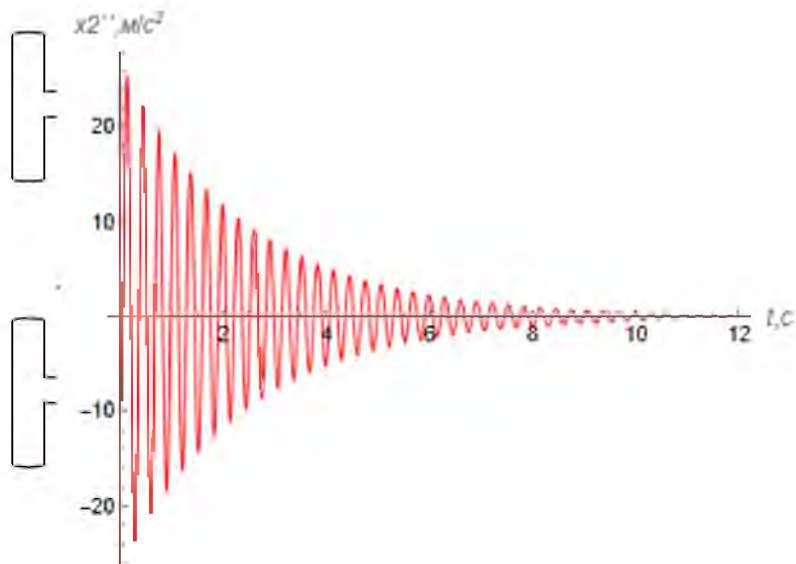
ІНІ

Графіки швидкості та прискорення першої маси моделі

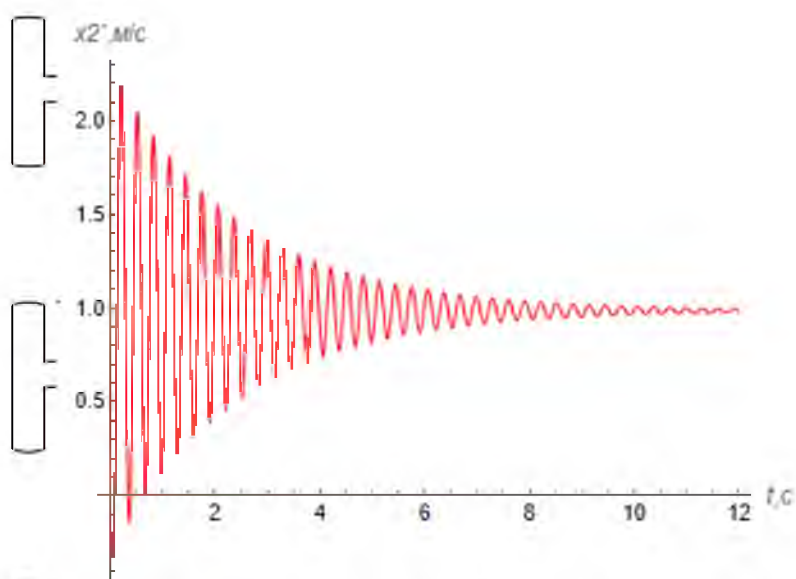
Рисунок 3.4 -

НУБІП України

НУБІП України



НУБІП



НУБІП

НУБІП

НУБІП

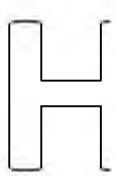
```
Show[p1, p2, PlotStyle -> {Red, Thickness[0.003]}, ImageSize -> 400,
  AxesStyle -> FontSize -> 12,
  AxesLabel -> {Text[Style["t, c", FontSize -> 13, Italic]],
```

НУБІП

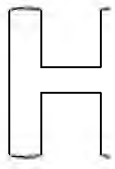
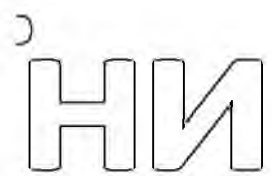
Рисунок 3.5 — Графіки швидкості та прискорення другої маси моделі

НУБІП Україна

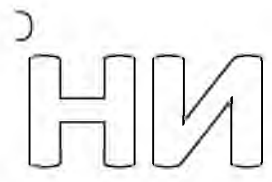
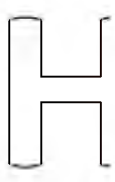
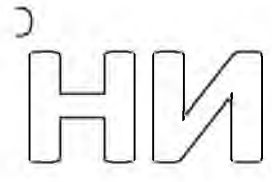
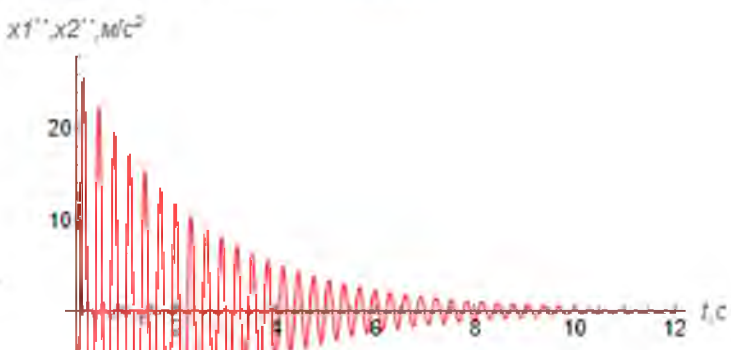
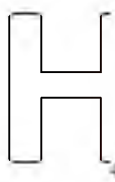
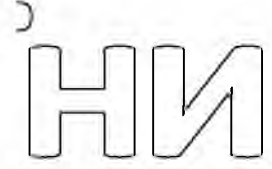
НУБІП Україна



```
Text[Style["x1", x2, "м/с²", FontSize -> 13, Italic]],
AxesOrigin -> {0, 0}, PlotRange -> All, AspectRatio -> 0.8]
Show[p11, p21, PlotStyle -> {Red, Thickness[0.003]}, ImageSize -> 400,
```



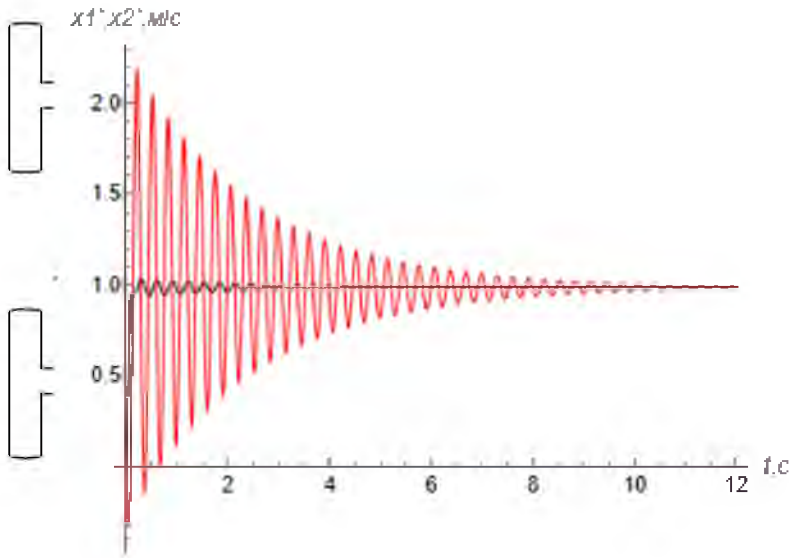
```
Text[Style["t, c", FontSize -> 13, Italic]],
Text[Style["x1", x2, "м/с", FontSize -> 13, Italic]], AxesOrigin -> {0, 0},
PlotRange -> All, AspectRatio -> 0.8]
```



НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України



нубіп України

нубіп України

```

ParametricPlot[Evaluate[{{x1[t] - x2[t]}, {x1'[t] - x2'[t]}} /. Sol1],
  {t, 0, T}, PlotStyle -> {Black, Thickness[0.003]}, ImageSize -> 400,
  AxesStyle -> FontSize -> 12,
  AxesLabel -> {Text[Style["x1-x2, м", FontSize -> 13, Italic]],
  AxesOrigin -> {0, 0}, PlotRange -> All, AspectRatio -> 1]

```

нубіп України

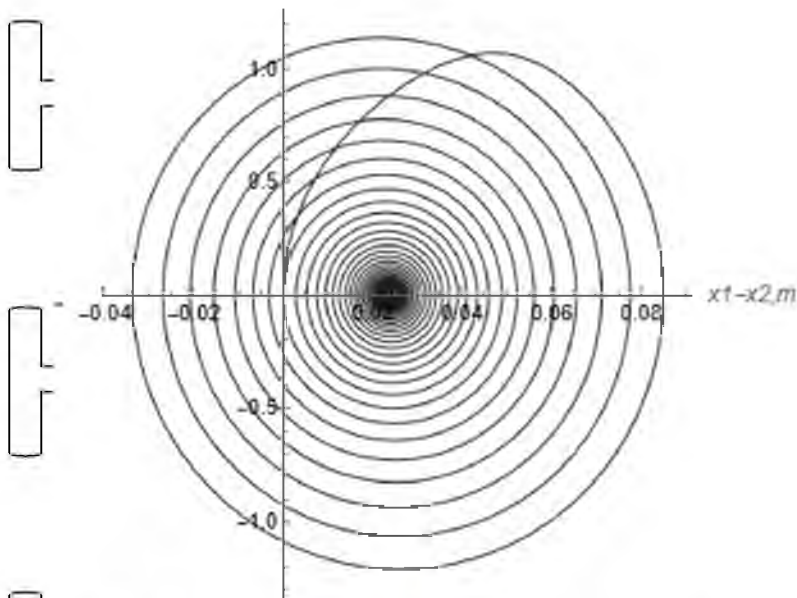
Графіки швидкостей та прискорень першої та другої мас моделі

Рисунок 3.6

нубіп України

нубіп України

нубіп України



```

Plot[Evaluate[c*(x1[t] - x2[t]) /. Sol1], {t, 0, T},
  PlotStyle -> {Black, Thickness[0.003]}, ImageSize -> 400,
  AxesStyle -> FontSize -> 12,
  AxesLabel -> {Text[Style["t,c", FontSize -> 13, Italic]],
    Text[Style["Фруж, Н", FontSize -> 13, Italic]]}, AxesOrigin -> {0, 0},
  PlotRange -> All,
  AspectRatio -> 0.9]

```

їїни

їїни

їїни

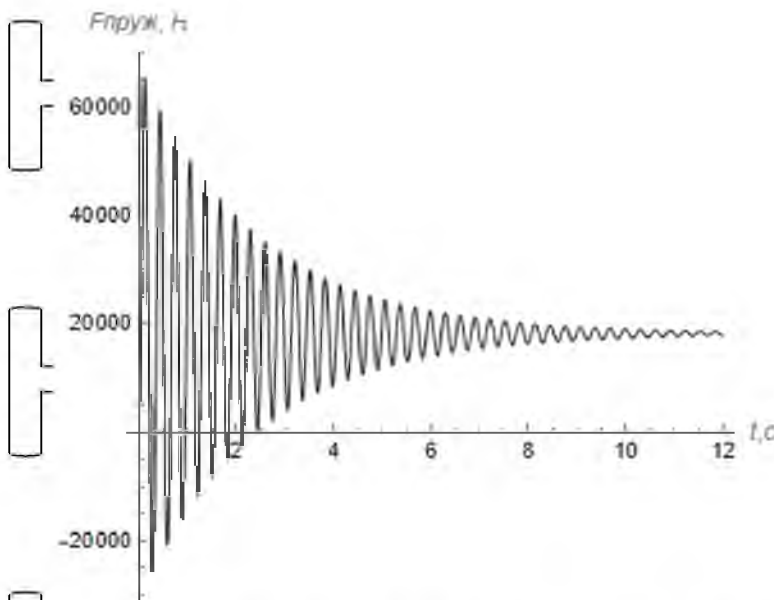
їїни

Рисунок 3.7

Графік фазового портрету коливаний мас моделі
 НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України



Висунок 3.8

Висунок 3.8

Висунок 3.8

```
Plot[Evaluate[F1 /. Soll], {t, 0, T}, PlotStyle -> {Black, Thickness[0.003]},
  ImageSize -> 400, AxesStyle -> FontSize -> 12,
  AxesLabel -> {Text[Style["t, c", FontSize -> 13, Italic]],
    Text[Style["Fприв, Н", FontSize -> 13, Italic]]}, AxesOrigin -> {0, 0},
  PlotRange -> All, AspectRatio -> 0.9]
```

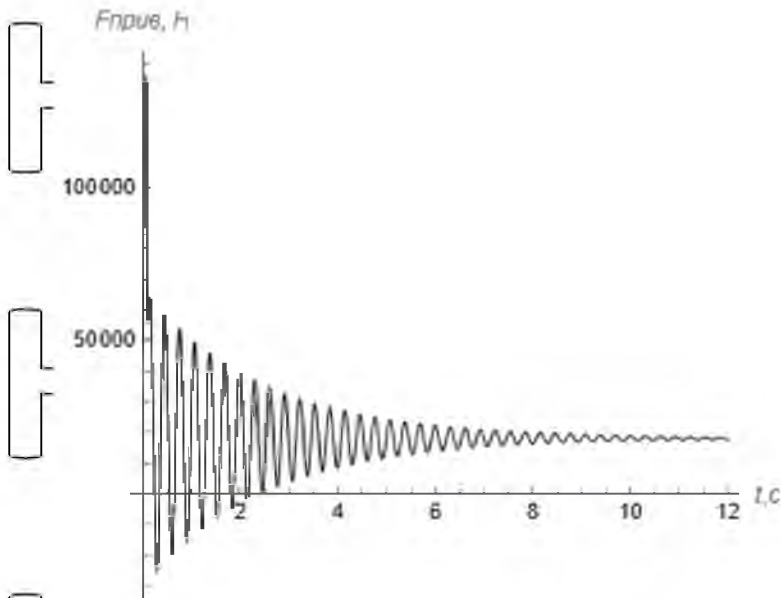
Висунок 3.8

Графік зусилля в з'єднувальному пристрої моделі

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України



```
Plot[Evaluate[F1 + x1'[t] /. Sol1], {t, 0, T},
```

[точка розбиття]

```
PlotStyle -> {Black, Thickness[0.003]}, ImageSize -> 400,
```

[стиль графіка] [чорний] [товщина] [розмір зображення]

```
AxesStyle -> FontSize -> 12,
```

[стиль осей] [розмір шрифту]

```
AxesLabel -> {Text[Style["t,c", FontSize -> 13, Italic]],
```

[позначення осей] [текст] [стиль] [розмір шрифту] [курсив]

```
Text[Style["Pприв,Вт", FontSize -> 13, Italic]], AxesOrigin -> {0, 0},
```

[текст] [стиль] [розмір шрифту] [курсив] [точка перетину осей]

```
PlotRange -> All, AspectRatio -> 1]
```

[діапазон значень] [все] [аспектне відношення]

аїни

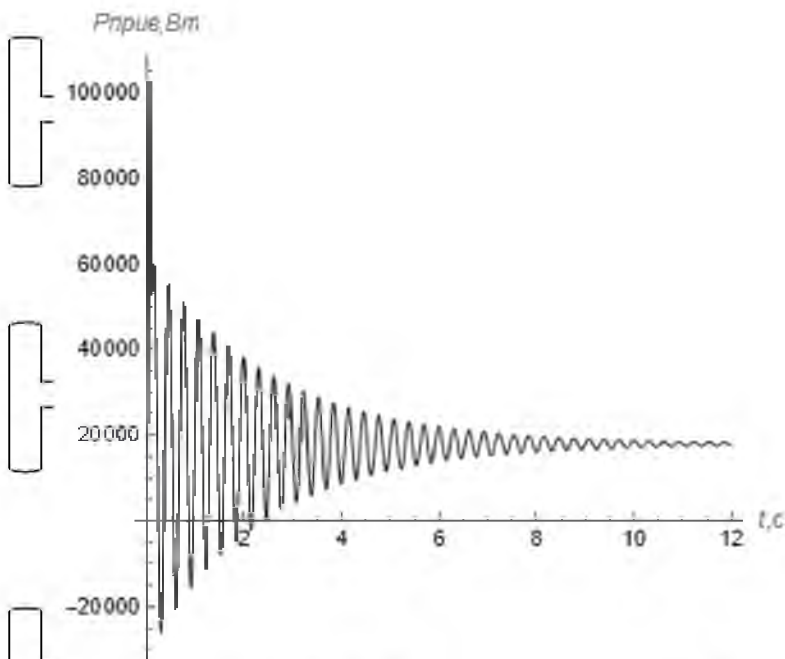
аїни

аїни

аїни

Рисунок 3.9

Графік зміни рушійного зусилля в динамічній моделі орного агрегату



аїни

аїни

аїни

Рисунок 3.10

Графік зміни потужності приводного двигуна

В результаті проведених розрахунків побудовані графічні залежності швидкостей та прискорень першої та другої мас динамічної моделі орного агрегату. Швидкість і прискорення 1 маси носять коливальний характер. При цьому максимальне значення швидкості перевищує уставлене значення в 1.95 разів.

Швидкість і прискорення другої маси також мають коливальний характер, які з часом затухають. При цьому максимальні значення швидкості у 2.2 разів перевищують уставлене значення. Максимальне значення прискорення другої маси складає 25 м/с^2 , а першої маси 12.8 м/с^2 . Звідки можна зробити висновок, що орний агрегат працює в більш напруженому динамічному режимі в порівнянні з тяговим трактором.

Аналіз фазового портрету колювання показує що колювання першої і другої мас з часом затухають при відносній деформації з'єднувального пристрою 2.2 см, максимальна деформація цього пристрою складає 8.5 см.

Пружне зусилля в з'єднувальному пристрої має коливальний характер. При цьому уставлене значення зусилля складає 19 кН, а максимальне 62 кН, що в 3.3 рази перевищує уставлене значення.

Рухливе зусилля приводного двигуна також змінюється в коливальному режимі, де максимальне значення більше ніж в 3 рази перевищує уставлене значення.

Потужність приводу також змінюється в коливальному режимі. При уставленому значенні 19 кВт максимальне значення складає майже 100 кВт, що приводить до значного перевантаження двигуна в процесі руху.

З побудованих графіків прискорення видно, що колювання тягового транспортного засобу виникають після його взаємодії з орним агрегатом, Після моменту дотикання вантажу до транспортного засобу амплітуда колювань останнього зростає. Це вказує на виникнення динамічних навантажень у підвісці транспортного засобу. Для їх зниження необхідно зменшити швидкість тягового трактора в процесі руху.

НУБІП УКРАЇНИ

Із графічних залежностей зусилля видно, що динамічні навантаження у з'єднувальному пристрої пов'язані з коливним характером руху орного агрегату.

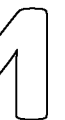
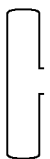
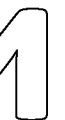
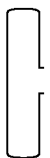
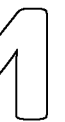
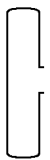
З плином часу коливання затухають, що викликано дисипативними зусиллями у канаті. Найбільший інтерес представляє максимум зусилля у з'єднувальному пристрої, він виникає на початку руху, коли орний агрегат не взаємодіє з ґрунтом. При цьому зусилля у з'єднувальному пристрої значно зростає.

Зусилля в з'єднувальному пристрої через передавальний механізм та механічні передачі передається на вал двигуна. Що стосується максимального зусилля у базовому тракторі, то воно також виникає на початку руху.

НУБІП УКРАЇНИ

Графік швидкості зведеної маси приводу є майже проямолінійним. Що стосується коливань орного агрегату, то до кінця перехідного режиму вони зникають.

Графіки динамічних функцій також мають коливний характер, що небажано при реалізації отриманого закону на практиці, оскільки це може викликати додаткові динамічні зусилля у гнучкому з'єднувальному пристрої.



РОЗДІЛ 4. ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ ПУСКУ ОРНОГО АГРЕГАТУ

4.1. Основні положення оптимізації режиму руху орного агрегату

Проведений динамічний аналіз орного агрегату з тяговим трактором показав, що під час руху в його елементах виникають значні динамічні навантаження, які значно перевищують статичні значення, тому виникає потреба зменшення цих навантажень. Крім того, спостерігаються значні коливання кінематичних, силових та енергетичних характеристик тягового трактора та орного агрегату. Одним з шляхів зменшення цих навантажень та усунення коливань елементів тягового трактора та орного агрегату є оптимізація режимів руху приводного механізму.

Процес, в якому максимізується кількісна характеристика бажаних властивостей машини або мінімізується кількісна характеристика її небажаних властивостей, називається оптимізацією. Задача створення найкращих машинних агрегатів або їхніх режимів руху до останнього часу не мала однозначного вирішення. Створення нових машин та їхніх режимів руху завжди пов'язано з необхідністю задоволення деякого комплексу вимог, які у відповідності з цільовим призначенням повинні відповідати зразкам машин і їхніх режимів. При цьому передбачається, що розробник може знайти рішення, яке забезпечить найкращі характеристики, що висуваються до машинних агрегатів або їхніх режимів руху.

При цьому необхідно вирішити дві взаємно протилежні задачі: Покращення якості машинного агрегату або його режиму руху і скорочення терміну проектування. При цьому покращення якості машинного агрегату, зокрема для оранки ґрунту повинно передбачати вибір оптимального варіанту. При ручному проектуванні машинного агрегату чи режиму його руху ймовірність вибору оптимального варіанту досить мала, причому відхилення від оптимального варіанту зростає зі зростанням складності конструкції.

Для того, щоб поставити, а тим більше вирішити задачу оптимізації, необхідно мати критерій оптимізації, який повинен бути чітко сформульований, Математично критерій оптимізації виражається

функціоналом. Наявність критерію оптимізації означає, що з'явилась можливість порівняння різних конструкцій механізму або його режимів руху, що є досить важливим в процесі проектування. Якщо правильно вибраний критерій оптимізації, то виникає задача вибору певних формальних методів, які дозволяють проектувальнику вибирати оптимальні рішення задачі, тобто такі рішення, при яких критерій оптимізації приймає екстремальні значення.

Використання апарату теорії оптимізації дозволяє по-новому підійти до вирішення задачі синтезу оптимальних машинних агрегатів та їхніх режимів руху. За вибраними критеріями ефективність роботи машинних агрегатів є найвищою, і проектувальник завжди може співставити розроблений агрегат або його режим руху з оптимальним і може знати чи є ще резерви подальшого удосконалення.

Використання того або іншого критерію оптимізації при створенні машинних агрегатів та їх режимів руху залежить від їхнього призначення та умов роботи. При цьому критерій оптимізації формулюється як скалярна функція, яка характеризується одним числом. В даній магістерській роботі вирішується задача вибору режиму руху орного агрегату з тяговим трактором при виконанні вертикальної оранки ґрунту дисковими робочими органами.

4.2. Оптимізація режиму пуску механізму орного агрегату

З динамічного аналізу режиму руху орного агрегату з тяговим трактором, встановлено, що в пружному елементі з'єднання трактора з орним агрегатом під час процесу пуску виникають значні динамічні навантаження коливального характеру, максимальні значення яких в 3,2 рази перевищують навантаження усталеного руху. Для суттєвого зменшення цих навантажень запропоновано провести оптимізацію режиму руху орного агрегату з тяговим трактором саме під час пуску, оскільки тут виникають найбільші динамічні навантаження в пружному елементі з'єднання трактора з орним агрегатом. Ці навантаження носять коливальний характер, який негативно впливає на роботу всього орного агрегату з трактором, зокрема при цьому знижується надійність та

продуктивність роботи всієї системи, а також спостерігаються підвищені енергетичні витрати тягового трактора.

Оскільки більшість показників роботи орного агрегату з трактором залежить від діючих навантажень, то доцільно за критерій оптимізації обрати інтегральний функціонал, який буде відображати дію рушійного зусилля тягового трактора під час процесу пуску. Причому ця дія навантажень повинна мати інтегральний характер і відображати навантаження протягом всього процесу пуску, під час якого виникають найбільші навантаження.

Тому за критерій оптимізації режиму пуску орного агрегату з трактором використаємо середньоквадратичне значення рушійного зусилля трактора, яке виражається наступною залежністю

$$F_{\text{пуск}} = \left[\frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} F_{\text{п1}}^2 dt \right]^{\frac{1}{2}} \rightarrow \min, \quad (4.1)$$

де t - час; t_1 - тривалість перехідного процесу руху орного агрегату;

$F_{\text{п1}}$ - тягове зусилля трактора.

Для розв'язання задачі оптимального керування рухом використаємо двомасову динамічну модель у вигляді орного агрегату з трактором, яка розглянута в третьому розділі 3 отриманого рівняння знаходимо рушійне зусилля трактора, яке визначається таким чином

$$F_{\text{п1}} = (m_{\text{п1}} + m)x'' + m_{\text{п1}} \frac{1}{g} x'''' + F_{\text{п2}} \quad (4.2)$$

Тепер знайдемо підінтегральний вираз для інтегрального динамічного критерію (4.1), який виражається наступною залежністю

$$f = F_{\text{п1}}^2 = \left[(m_{\text{п1}} + m)x'' + m_{\text{п1}} \frac{1}{g} x'''' + F_{\text{п2}} \right]^2 \quad (4.3)$$

Отже, сформовано інтегральний динамічний критерій, який дозволить визначити оптимальний режим руху орного агрегату з трактором. Оскільки цей критерій відображає небажані властивості орного агрегату з трактором, тому він підлягає мінімізації.

Умовою мінімуму критерію (4.1) з урахуванням виразу (4.3) є рівняння

Пуассона, які мають наступний вигляд

$$\frac{\delta f}{\delta x} - \frac{d}{dt} \frac{\delta f}{\delta \dot{x}^I} + \frac{d^2}{dt^2} \frac{\delta f}{\delta \ddot{x}^{II}} - \frac{d^3}{dt^3} \frac{\delta f}{\delta \ddot{\ddot{x}}^{III}} + \frac{d^4}{dt^4} \frac{\delta f}{\delta x^{IV}} = 0; \quad (4.4)$$

Провівши необхідні для рівняння (4.4) операції диференціювання над виразом (4.3), отримаємо такі залежності:

$$\frac{\delta f}{\delta x} = 0; \quad \frac{\delta f}{\delta \dot{x}^I} = 0; \quad \frac{\delta f}{\delta \ddot{x}^{III}} = 0;$$

Тоді

$$\frac{\delta f}{\delta \ddot{x}^{II}} = 2 \left[(m_{n1} + m)x^{II} + m_{n1} \frac{l}{g} x^{IV} + F_{n2} \right] (m_{n1} + m);$$

$$\frac{\delta f}{\delta x^{IV}} = 2 \left[(m_{n1} + m)x^{II} + m_{n1} \frac{l}{g} x^{IV} + F_{n2} \right] m_{n1} \frac{l}{g};$$

$$\frac{d^2}{dt^2} \frac{\delta f}{\delta \ddot{x}^{II}} = 2 \left[(m_{n1} + m)x^{IV} + m_{n1} \frac{l}{g} x^{IV} + 0 \right] (m_{n1} + m);$$

$$\frac{d^4}{dt^4} \frac{\delta f}{\delta x^{IV}} = 2 \left[(m_{n1} + m)x^{IV} + m_{n1} \frac{l}{g} x^{VIII} + 0 \right] m_{n1} \frac{l}{g}.$$

Після підстановки отриманих виразів у рівняння (4.4) отримаємо диференціальне рівняння восьмого порядку.

$$2(m_{n1} + m) \left[(m_{n1} + m)x^{IV} + m_{n1} \frac{l}{g} x^{IV} \right] + 2m_{n1} \frac{l}{g} \left[(m_{n1} + m)x^{IV} + m_{n1} \frac{l}{g} x^{VIII} \right] = 0;$$

$$(m_{n1} + m) \left[(m_{n1} + m)x^{IV} + m_{n1} \frac{l}{g} x^{IV} \right] + m_{n1} \frac{l}{g} \left[(m_{n1} + m)x^{IV} + m_{n1} \frac{l}{g} x^{VIII} \right] = 0$$

$$(m_{n1} + m)^2 x^{IV} + (m_{n1} + m)x^{IV} m_{n1} \frac{l}{g} + m_{n1} \frac{l}{g} (m_{n1} + m)x^{IV} + (m_{n1} \frac{l}{g})^2 x^{VIII} = 0;$$

$$(m_{n1} + m)^2 x^{IV} + 2(m_{n1} + m) \left(m_{n1} \frac{l}{g} x^{IV} \right) + \left(m_{n1} \frac{l}{g} \right)^2 x^{VIII} = 0;$$

$$\frac{(m_{n1} \frac{l}{g})^2}{(m_{n1} \frac{l}{g})^2} x^{VIII} + 2 \frac{(m_{n1} + m) (m_{n1} \frac{l}{g})}{(m_{n1} \frac{l}{g})} x^{IV} + \frac{(m_{n1} + m)^2}{(m_{n1} \frac{l}{g})^2} x^{IV} = 0.$$

Розділивши в останньому рівнянні всі члени на коефіцієнт біля найстаршої похідної, будемо мати таке рівняння

$$x^{VIII} + 2 \frac{(m_{n1} + m)}{(m_{n1} \frac{l}{g})} x^{IV} + \frac{(m_{n1} + m)^2}{(m_{n1} \frac{l}{g})^2} x^{IV} = 0.$$

В останньому рівнянні зробимо наступну заміну

$$k = \sqrt{\frac{m_{II} + m_{III}}{m_{II} l}} g, \quad (4.5)$$

В результаті чого отримаємо лінійне однорідне диференціальне рівняння восьмого порядку з постійними коефіцієнтами, яке може бути розв'язано аналітичними методами

$$x^{VIII} + 2k^2 x^{VI} + k^4 x^{IV} = 0, \quad (4.6)$$

де k – частота власних коливань системи орний агрегат – трактор.

Для розв'язку рівняння (4.6) складемо характеристичне рівняння і визначимо його корені:

$$r^8 + 2k^2 r^6 + k^4 r^4 = 0$$

$$r^4(r^4 + 2k^2 r^2 + k^4) = 0$$

$$r^4 = 0 \rightarrow r^1 = r^2 = r^3 = r^4 = 0$$

$$r^4 + 2k^2 r^2 + k^4 = 0 \quad \text{Заміна } r^2 = p$$

$$p^2 + 2k^2 p + k^4 = 0$$

$$p_{1,2} = -k^2 \pm \sqrt{k^2 - k^2} = -k^2 \pm 0 \rightarrow p_1 = -k^2, \quad p_2 = -k^2$$

$$r_{5,6} = \sqrt{p_1} = \sqrt{-k^2} = \pm ki;$$

$$r_{7,8} = \pm ki;$$

Отриманим кореням характеристичного рівняння відповідає розв'язок рівняння (4.6) з урахуванням виразу (4.5), який має такий вигляд

$$x = c_1 + c_2 t + c_3 t^2 + c_4 t^3 + (c_5 + c_6 t) \sin kt + (c_7 + c_8 t) \cos kt, \quad (4.7)$$

де c_1, c_2, \dots, c_8 постійні інтегрування, які вираховуються з крайових умов руху:

$$\begin{cases} t = 0: x = 0, x_I = 0, x^{II} = 0, x_1^I = 0; \\ t = t_1: x^I = v, x_1^I = v, x^{II} = 0, x_1^{II} = 0 \end{cases} \quad (4.8)$$

Зведемо крайові умови (4.12) лише до координати орного агрегату і похідних за часом

$$\begin{cases} t = 0: x_1 = 0, x = 0, x^{II} = 0, x_1^I = 0, x^I = 0, x^{III} = 0 \\ t = t_1: x^I = v, x_1^I = v, x^{III} = 0, x_1^{II} = 0, x^{II} = 0, x^{IV} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} t = 0: x = 0, x^I = 0, x^{II} = 0, x^{III} = 0; \\ t = t_1: x^I = v, x^{II} = v, x^{III} = 0, x^{IV} = 0 \end{cases} \quad (4.9)$$

Тепер візьмемо похідні за часом від виразу (4.7), в результаті чого будемо мати такі залежності кінематичних характеристик орного агрегату:

$$x^I = 0 + c_2 + 2c_3t + 3c_4t^2 + c_6 \sin kt + (c_5 + c_6t) k \cos kt + c_8 \cos kt - (c_7 + c_8t) k \sin kt;$$

$$x^{II} = c_2 + 2c_3t + 3c_4t^2 + (c_6 - c_7k - c_8kt) \sin kt + (c_8 + c_5k + c_6kt) \cos kt;$$

$$x^{III} = 0 + 2c_3 + 2 \cdot 3c_4t^{(2-1)} - c_8k \sin kt + (c_6 - c_7k - c_8kt)k \cos kt + c_6k \cos kt - (c_8 + c_5k + c_6kt) k \sin kt;$$

$$x^{IV} = 2c_3 + 6c_4t - (2c_8 + c_5k + c_6kt)k \sin kt + (2c_6 - c_7k - c_8kt)k \cos kt;$$

$$x^{III} = 0 + 6c_4 - c_6k^2 \sin kt - (2c_8 + c_5k + c_6kt)k^2 \cos kt - c_8k^2 \cos kt - (2c_6 - c_7k - c_8kt)k^2 \sin kt;$$

$$x^{III} = 6c_4 - (3c_6 - c_7k - c_8kt)k^2 \sin kt - (3c_8 + c_5k + c_6kt)k^2 \cos kt;$$

$$x^{IV} = 0 + c_8k^3 \sin kt + (3c_6 - c_7k - c_8kt)k^3 \cos kt - c_6k^3 \cos kt + (3c_8 + c_5k + c_6kt)k^3 \sin kt;$$

$$= (4c_8 + c_5k + c_6kt)k^3 \sin kt - (4c_6 - c_7k - c_8kt)k^3 \cos kt. \quad (4.10)$$

Підставивши в останні залежності кінематичних характеристик крайові умови

(4.9), будемо мати систему лінійних рівнянь для визначення постійних інтегрування c_1, c_2, \dots, c_8 , коли $t=0$ маємо:

$$0 = c_1 + c_7;$$

$$0 = c_2 + c_5k + c_8;$$

$$0 = 2c_3 + (2c_6 - c_7k)k;$$

$$0 = 6c_4 - (3c_8 + c_5k)k^2;$$

при $t=t_1$ знаходимо:

$$V = c_2 + 2c_3t_1 + 3c_4t_1^2 + (c_6 - c_6k - c_8kt_1) \sin kt_1 + (c_8 + c_5k + c_6kt_1) \cos kt_1;$$

$$0 = 2c_3 + 6c_4t_1 - (2c_8 + c_5k + c_6kt_1)k \sin kt_1 + (2c_6 - c_7k - c_8kt_1)k \cos kt_1;$$

$$0 = 6c_4 - (3c_6 - c_7k - c_8kt_1)k^2 \sin kt_1 - (3c_8 + c_5k + c_6kt_1)k^2 \cos kt_1;$$

$$0 = (4c_8 + c_5k - c_6kt_1)k^3 \sin kt_1 - (4c_6 - c_7k + c_8kt_1)k^3 \cos kt_1. \quad (4.11)$$

Розв'язавши систему рівнянь (4.11), знайдемо постійні інтегрування і

підставимо їх в залежності (4.10) для визначення кінематичних характеристик.

У результаті проведених розрахунків у програмному середовищі Wolfram Mathematica побудовані графічні залежності бажаних характеристик орного агрегату та трактора

4.3. Результати оптимізації режиму пуску орного агрегату

Для всіх кінематичних, силових та енергетичних характеристик оптимального режиму пуску орного агрегату з трактором побудовані графічні залежності (рис.4.1,..., рис.4.7).

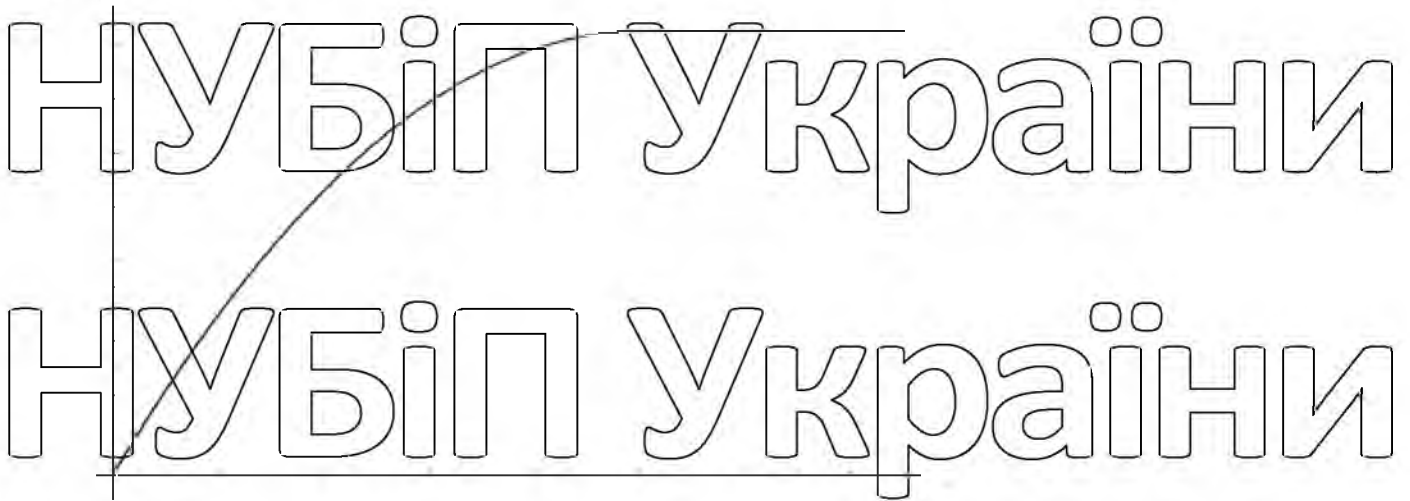


Рисунок.4.1 - Лінійна швидкість тягового трактора

З рис.4.1 видно, що лінійна швидкість тягового трактора змінюється плавно без коливань по параболічному закону до усталеної швидкості руху. Такий режим пуску мінімізує динамічні навантаження в приводі базового трактора та з'єднувальному пристрої трактора з орним агрегатом.



Рисунок 4.2 - Лінійна швидкість орного агрегату

Лінійна швидкість орного агрегату (рис.4.2) змінюється плавно без коливань по параболічному закону до усталеного значення. Це зводить до мінімуму динамічні навантаження в приводі трактора та з'єднувальному пристрої трактора з орним агрегатом.

НУБІП України



Рисунок 4.3 - Пружне зусилля в з'єднувальному пристрої орного агрегату та трактора

З рис. 4.3 можна бачити, що пружний момент в з'єднувальному пристрої змінюється лінійно від максимального до усталеного значення на ділянці пуску.



Рисунок 4.4 - Потужність тягового трактора

З рис. 4.4 видно, що трактора змінюється плавно без коливань по параболічному закону. На ділянці усталеного руху вона стабілізується і приймає постійне значення.

НУБІП України

З отриманих графічних залежностей (рис.4.1,..., рис.4.4) оптимального динамічного режиму пуску тягового трактора з орним агрегатом можна бачити, що коливання в ланках базового трактора та орного агрегату відсутні. При цьому динамічні навантаження зменшуються до мінімальних значень і рух ланок трактора та орного агрегату є плавним.

Отриманий оптимальний динамічний режим пуску трактора з орним агрегатом має значні переваги перед рухом зі звичайним керуванням, оскільки тут значно зменшуються максимальні значення кінематичних, силових та енергетичних характеристик і усуваються коливання.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Загальні положення

Охорона праці в Україні базується на комплексі різноманітних заходів і нормативних документів, спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності людини під час трудової діяльності. Це включає різні закони, кодекси, положення, директиви, які регулюють умови праці та безпеку на робочому місці.

Законодавство про охорону праці в Україні ґрунтується на таких законодавчих актах, як Закон про працю, Закон про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасних випадків на виробництві та професійно-набутих захворювань, а також інших нормативних актах, які визначають обов'язкові стандарти та правила у галузі охорони праці.

Якщо міжнародним договором, ратифікованим Верховною Радою України, встановлені стандарти безпеки та захисту праці, вони є обов'язковими для виконання.

Державна політика в галузі охорони праці має важливе значення та регулюється Конституцією України та рішеннями Верховної Ради, спрямована на забезпечення безпечних умов праці та запобігання нещасним випадкам і професійним захворюванням.

Ці принципи відображають важливі аспекти охорони праці та визначають основні пріоритети та підходи у цій сфері. Дозвольте детальніше проаналізувати ці положення:

1. Пріоритетність життя та здоров'я працівників: Цей принцип підкреслює важливість створення безпечних умов праці, де працівники можуть працювати без ризику для свого здоров'я та життя.

2. Технічний контроль і безпека: Створення умов для безпечної праці, через технічний контроль технологій та обладнання, є ключовим аспектом охорони праці.

3. Широкий спектр програм: Різноманітні програми та політика мають бути враховані, зокрема загальнодержавні, галузеві та регіональні програми для вирішення питань з охорони праці.

4. Соціальний захист працівників: Повна компенсація за постраждалість від виробничих травм та захворювань - це показник соціального захисту працівників.

5. Єдині вимоги до безпеки: Застосування однакових вимог до охорони праці для всіх підприємств, незалежно від форми власності та видів діяльності.

6. Пристосування робочих процесів: Підкреслення важливості пристосування робочих процесів до можливостей працівника з урахуванням його фізичних та психічних можливостей.

7. Економічні методи керування: Використання економічних методів для управління охороною праці, разом із фінансовою підтримкою заходів з безпеки праці.

8. Освіта та консультації: Значення навчання та підвищення кваліфікації з питань охорони праці для працівників.

9. Координація діяльності: Важливість координації між різними соціальними групами для вирішення проблем з охорони праці.

10. Міжнародне співробітництво: Застосування міжнародного досвіду та співробітництво для покращення умов праці та охорони праці.

Вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий інструктажі робітників мають проводитись згідно з вимогами НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці» по відповідних програмах, затверджених керівником підприємства, про що робиться запис в журналі реєстрації інструктажів.

Основні аспекти безпеки праці у сільському господарстві включають:

1. Інструктажі з охорони праці: Згідно з НПАОП 0.00-4.12-05, на підприємствах проводять вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий інструктажі з охорони праці. Ці інструктажі охоплюють перевірку знань працівників щодо правил безпеки та норм безпеки праці на підприємстві.

Керівники підприємства зобов'язані затвердити відповідні програми

інструктажів, а здійснення інструктажів фіксується у спеціальних журналах реєстрації.

2. Медичні огляди: Працівники, які виконують роботи з підвищеною небезпекою, мають проходити медичні огляди. Після успішного проходження цих оглядів та отримання відповідного медичного дозволу вони допускаються до роботи.

3. Застосування індивідуального захисту: Роботодавець зобов'язаний забезпечити працівників необхідним спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту, які відповідають галузевим нормам та вимогам безпеки праці.

4. Документація з охорони праці: Контроль за виконанням організаційних та технічних заходів безпеки праці здійснюється через ведення відповідної документації. Це включає журнали реєстрації інструктажів, журнали медичних оглядів, а також інші документи, які регламентуються законодавством.

5. Особиста відповідальність: У сільському господарстві, де робочі відстані можуть бути великими, працівники повинні бути особливо обережними та відповідальними за власну безпеку під час виконання роботи.

Ці аспекти безпеки праці на сільськогосподарських підприємствах допомагають забезпечити безпеку та здоров'я працівників у робочому оточенні, де можуть бути свої особливі умови та ризики.

Умови праці в сільському господарстві відрізняються тим, що польові роботи часто виконуються на великій відстані від тракторної бригади або центральної частини господарства, що призводить до зниженого контролю з боку адміністрації. Це ставить більше відповідальності на самого працівника щодо безпеки роботи та захисту від потенційних небезпек.

У таких умовах особиста відповідальність працівників, особливо механізаторів, стає вищою, оскільки вони проводять час на полі віддалено від центрального нагляду. Тому зростає необхідність бути уважним та пильним, вчасно реагувати на потенційні небезпеки.

Весняний період також вимагає більше робочих рук для обслуговування агрегатів та підготовки до сівби, що може підвищити інтенсивність роботи. Це

означає, що працівники повинні бути уважнішими та дотримуватися правил безпеки під час виконання операцій з машинами.

Доробок насиченої та трудово-інтенсивної роботи у весняний період в сільському господарстві обтяжений численними небезпеками, що можуть призвести до травм та загрози здоров'ю працівників. Ці фактори включають можливі поломки сільськогосподарських машин та тракторів, роботу поруч з електролініями, виконання робіт при різних температурних режимах, експозицію шумовому та вібраційному навантаженню, підвищену кількість пилу у повітрі, а також контакт з отруйними рослинами, небезпечними тваринами та комахами. У цьому контексті, наявність нахилів на полі, інші працюючі агрегати, загроза пожежі та навантаження на нервову систему також становлять значні ризики. Недотримання правил безпеки може призвести до серйозних наслідків для працівників під час проведення польових робіт у цей період.

При оперуванні з машинами для обробки ґрунту існує небезпека виникнення ризикових умов та факторів, які включають:

Недостатню фіксацію компонентів машин, таких як причіпні (або навісні) агрегати, робочі органи, пружини та механізми передачі руху, а також колеса.

Робочу рідину у гідросистемі.

Високу концентрацію мінеральних добрив та пилу в робочій зоні в повітрі.

Негативні погодні умови.

Тому буде краще наперед провести профілактику від нещасних випадків, а саме:

призначити осіб, які будуть відповідальні за організацію безпечної експлуатації с/г техніки і реалізації інших видів робіт;

обов'язково провести інструктажі з охорони праці (вступний та первинний) з працівниками, які будуть залучені до виконання робіт;

не дозволяти виконувати роботи особам, які не пройшли з тих чи інших причин медичний догляд або нетверезих;

забезпечити осіб, які будуть виконувати роботи, необхідним одягом, засобами захисту (якщо такі є потрібними), питною водою, а також аптечкою та вогнегасником.

визначити спеціально відведенні місця для можливості проводити там перерву.

Під час нічної зміни працівникам заборонено відпочивати у борозні або в кабіні трактора, особливо при роботі працюючого двигуна.

Машина або обладнання з будь-якими технічними проблемами не повинні використовуватись для виконання робіт. Крім того, потрібно ретельно

розробляти та затверджувати маршрути та технології для переміщення обладнання з метою безпечних робочих процесів.

Основні правила безпеки під час роботи з ґрунтообробними агрегатами, які варто наголосити під час інструктажу для механізаторів, включають:

- В радіусі руху агрегату не повинно перебувати людей під час маневрів, таких як повороти та розвороти.

- Під час руху назад робочі органи агрегату мають бути підняті від землі. Після закінчення цього руху їх слід повернути в робоче положення під час прямого руху.

- Не залишати ґрунтообробний агрегат з увімкненим двигуном трактора без нагляду. При тривалій зупинці агрегат слід загальмувати, опустити робочі органи та вимкати двигун.

- Очищення робочих органів слід виконувати тільки при повністю зупиненому та вимкненому агрегаті. Робочі органи мають бути опущені, а працівник, який виконує цю операцію, має використовувати захисні рукавиці та спеціальні чистила.

- Заборонено працювати з агрегатами під час грози. У цей момент краще укритись в закритому приміщенні, утримуючи вікна та двері закритими, щоб уникнути можливого ураження блискавкою.

5.2. Вимоги безпеки перед початком роботи

Першочергово для роботи відбирають осіб, які досягли 18-річного віку, успішно пройшли медичний огляд і отримали спеціальну підготовку. Вони повинні мати навички управління трактором, підтверджені відповідним посвідченням, а також успішно пройшли навчання з охорони праці та протипожежного захисту.

Одяг, взуття та головний убір мають бути чистими, а також відповідати розміру працівника. Одяг не повинен ускладнювати рухи працівника і не мати виступаючих кінців, які можуть заважати.

Робочий одяг повинен забезпечувати комфортний тепловий режим тіла. У випадку жінок, волосся має бути прибрано під головний убір. Щодо взуття, воно повинно мати жорстку підошву, гарне зчеплення з поверхнею, невисокі та широкі підбори.

Робота у просоченому паливно-мастильними матеріалами одязі заборонена.

Для тракториста важливо мати наступний одяг:

- Костюм, створений із пилонапроникної тканини.
- Комбіновані рукавиці.
- Захисні окуляри.

Для забезпечення безпеки важливо, щоб технічний стан машин, механізмів та інструментів відповідав вимогам охорони праці.

Тракторист-машиніст має виконувати лише ту роботу, яка доручена адміністрацією. Перед початком роботи він зобов'язаний отримати інструктаж на робочому місці, перевірити технічний стан трактора та встановити агрегат – навісити чи причепити відповідну машину. Під час роботи механізатор повинен використовувати інструменти та пристрої за призначенням і таким чином, щоб гарантувати безпечне виконання роботи.

Додатково, для уникнення негативних наслідків тракторист повинен бути ознайомлений з методами надання долікарської допомоги.

Також важливо пам'ятати, що трактористу-машиністу не дозволяється змінювати склад агрегату без дозволу бригадира, агронома чи механізатора відділення.

Необхідно ретельно перевірити технічний стан трактора та навісного (причіпного) обладнання за наступними параметрами:

1. Стан справності та працездатності.
2. Перевірка роботи гальмівної системи, керування, контрольно-вимірювальних приладів.
3. Перевірка надійності з'єднання трубопроводів гідросистеми, системи змащення, паливної системи, системи охолодження.
4. Перевірка роботи приладів звукової та світлової сигналізації, акумуляторної батареї.
5. Перевірка надійності з'єднання та ізоляції контактів приладів бортової мережі.
6. Усунення будь-яких виявлених недоліків шляхом вжиття необхідних заходів.

Забезпечення відповідності цих параметрів дозволить забезпечити безпеку та надійність роботи трактора та обладнання.

Під час огляду акумуляторної батареї слід перевірити контакти на клеммах та рівень електроліту в банках. Також необхідно уважно оглянути отвори у вентиляційних пробках на банках, оскільки їх засміченість може спричинити пошкодження корпусу батареї. Це може призвести до вибуху та виникнення механічних травм і хімічних опіків кислотою.

Перед запуском двигуна важливо перевірити рівень оливи, води та палива.

Треба прибрати інструменти та заправний інвентар, встановити важіль коробки передач та важлі розподільника навісної системи у нейтральному положенні.

Також необхідно ввімкнути насос та вимкнути вал відбору потужності (привідний шків). Впевніться, що блокуючий пристрій у тракторі справний.

Перед входом у кабінку очистіть взуття від бруду. Починати рух трактора слід тільки після подачі сигналу та переконання, що на шляху руху немає людей і рух трактора не становить загрози для оточуючих.

У кабіні слід перевірити правильне укомплектування медичної аптечки та переконатися, що всього в ній вистачає. Також важливо оцінити наявність вогнегасника та його справність. Звірте дані в бортовому журналі та перевірте, чи є відмітки про можливі зміни.

Перед початком роботи обов'язково під'єднайте трактор до причіпної машини.

Людем, які знаходяться у радіусі виконання робіт, слід відійти від техніки на відстань не менше ніж 1,5 метра. З'єднання слід робити тільки при повній зупинці трактора. Знаряддя, що використовується з трактором, повинне зберігати стійке положення, і причіпний пристрій слід встановлювати на правильній вказаній висоті.

Заборонено розпочинати роботу, якщо в системі охолодження відсутня рідина.

Перед початком роботи слід перевірити правильність роботи стоп-сигналів, показників поворотів на тракторі та агрегатах, які використовуються з трактором.

Під час перевірки рівня палива в баку, мастила у двигуні, в мостах, гідромеханічних передачах та коробці передач, а також при перевірці рівня електроліту в акумуляторних батареях, заборонено використовувати відкритий вогонь або курити. Безпека робіт полягає у тому, щоб уникнути проливання технічних рідин і мастила на одяг, взуття, відкриту шкіру працівника та на землю. Важливо дотримуватися особистої гігієни під час виконання роботи.

Не дозволяється передавати керування технікою іншим особам, крім уповноважених.

Заборонено перевозити людей або сторонні предмети в кабіні трактора.

Також заборонено проводити технічне обслуговування трактора на схилах або залишати трактор на схилах з метою запуску двигуна трактора накатом.

У робочому процесі заборонено стрибати з трактора або висовуватися з кабіни, особливо коли трактор працює.

При підйманні та опусканні навісного обладнання для вертикальної обробки ґрунту, а також при поворотах, важливо переконатися, що ці дії не завдають шкоди іншим працівникам та нікому не небезпечні.

Усі з'єднання шлангів гідросистеми мають бути надійно та герметично закриті, шланги мають бути зафіксовані так, щоб вони не торкалися рухливих частин машини під час роботи.

Під час руху навісного обладнання заборонено сідати або сходити з нього.

Заборонені різкі маневри, круті повороти та маневрування заднім ходом, коли робочі органи обладнання знаходяться в ґрунті.

Строго заборонено перебувати під піднятим навісним обладнанням під час його регулювання чи усунення будь-яких несправностей.

При тривалих зупинках трактора не дозволяється залишати навісне обладнання у піднятому положенні.

Деякі додаткові вимоги та процедури для безпечної та ефективної експлуатації трактора та його обладнання включають:

1. Допоміжні сидіння на причіпному обладнанні: Якщо завод-виробник не передбачає встановлення додаткових сидінь на причіпному обладнанні, самостійне їх встановлення заборонено. Це може супроводжуватися небезпечною або порушенням безпекових стандартів.

2. Освітлення трактора: Якщо робота здійснюється вночі, трактор повинен бути обладнаний справними світловими пристроями для забезпечення безпеки та видимості.

3. З'єднання агрегатів: При з'єднанні різних частин обладнання слід користуватися бородками для об'єднання отворів. Це гарантує правильне та безпечне з'єднання.

4. Очищення агрегату від забруднень: Очищення агрегату від бур'янів та надлишкового ґрунту слід проводити тільки після повної зупинки техніки для уникнення травматичних ситуацій.

5. Чистка робочих органів: Чистка зубців та робочих органів здійснюється за допомогою ганків та інших відповідних інструментів. Ігнорування цього може призвести до травмування працівників.

6. Встановлення чистиків на агрегаті: Під час встановлення чистиків на агрегаті важливо слідкувати за правильним встановленням для запобігання травмам та збереження нормальної роботи обладнання.

7. Заборона регулювання глибини ходу дисків під час руху: Не дозволяється регулювати глибину ходу дисків під час руху, щоб уникнути травм та нещасних випадків.

8. Захист при заточуванні робочих органів: Під час заточування робочих органів, таких як лапи, диски та інші, необхідно користуватися захисними рукавицями та окулярами для запобігання травмам.

Ці вимоги спрямовані на забезпечення безпеки та ефективності роботи з трактором та його обладнанням.

5.3 Вимоги безпеки після закінчення роботи

Важливо звернути увагу на наступні кроки, які рекомендується виконати після завершення роботи з трактором та його обладнанням:

1. Паркування техніки: Після закінчення роботи виїхати із робочого місця, повернувшись відповідно до встановленого маршруту.

2. Зупинка та заглушення трактора: Вимкнути двигун та загальмувати агрегати.

Якщо настане холодний період року, повністю злити воду з системи охолодження та переконатися, що нічого не залишилося у системі охолодження.

3. Очищення обладнання: Вичистити агрегати від бруду, пилу, рослинних залишків або інших залишків, що можуть утруднити роботу наступного робочого дня.

4. Персональна гігієна: Після роботи зняти робочий одяг, вимити руки та обличчя та, за можливості, прийняти душ для забезпечення особистої гігієни.

5. Повідомлення про несправності: Якщо в процесі роботи були виявлені які-небудь несправності або проблеми щодо безпечності роботи, важливо повідомити керівника виробничого відділу про це. Це дозволить покращити безпеку на робочому місці.

Ці кроки допоможуть підтримувати техніку в гарному стані та забезпечувати безпеку робочого середовища, а також зберегти особисту гігієну.

5.4 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У разі виникнення аварійних ситуацій категорично необхідно негайно зупинити агрегат, вимкнути двигун і загальмувати трактор.

При спричиненні аномальних шумів двигуном трактора, слід терміново припинити його роботу та вирішити причину появи звуку. Якщо спостерігається значне збільшення обертів колінчастого вала двигуна, рекомендується припинити подачу палива.

Щоб уникнути травм або опіків, не рекомендується знімати шланги з патрубків радіатора опалювача під час роботи двигуна.

При виникненні пожежі обов'язково вимкнути агрегат і відвезти його в безпечне місце, за умови, що це не становить загрозу для життя та здоров'я людини. Якщо двигун трактора загорівся, слід негайно заглушити його, перекривши подачу палива. Вогонь рекомендовано гасити за допомогою вуглекислотних або порошкових вогнегасників, а також інших доступних матеріалів, наприклад, піску або землі, і викликати швидку допомогу.

Якщо полум'я надто велике, варто відійти від агрегату якомога далі та уникати наближення інших осіб.

Для уникнення перекидання агрегату заборонено рухатися впоперек схилів з нахилом більше 15°.

У разі встановлення нещасного випадку потрібно негайно поставити до відома адміністрацію.

В разі виявлення аварійної ситуації необхідно негайно повідомити адміністрацію. Якщо в результаті сталося пошкодження або є постраждалі, важливо надати невідкладну допомогу. Це включає усунення небезпечних чи шкідливих чинників для потерпілого.

Надання першої медичної допомоги відповідно до потреби: відновлення дихання, проведення серцево-легеневої реанімації, зупинка кровотечі, аплікація шини для фіксації перелому тощо. Обов'язково викликати швидку допомогу або, якщо це неможливо, транспортувати потерпілого до найближчого медичного закладу.

Рекомендується зберігати місце аварії без змін до завершення повного розслідування подій.

РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Одним із ключових етапів аналізу є оцінка економічної ефективності внесених змін у технічне обладнання для виробництва сільськогосподарської продукції. В наш час існують деякі загальноприйняті критерії, які допомагають визначити результативність капітальних витрат, враховуючи часовий фактор.

До таких критеріїв відносяться [16]:

- Чиста теперішня вартість (чистий приведений ефект),
- Внутрішня норма прибутковості;
- Дисконтний період окупності.

Чиста теперішня вартість визначається як різниця між дисконтованими (переведеними до конкретного моменту часу) значеннями чистого прибутку та інвестиційних витрат. Цей показник представляє собою зведений узагальнений результат інвестиційної діяльності в абсолютних величинах.

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad (5.1)$$

де NPV – чиста теперішня вартість; R_t – розмір чистої вартості, отриманої в t -м році з врахуванням повернення амортизаційних сум; i – прибутковість капіталу; I_0 – розмір капітальних вкладень, n – термін реалізації проекту.

У випадку постійної величини річних грошових надходжень формула для визначення NPV представлена наступним чином:

$$NPV = R \cdot \frac{1 - (1+i)^{-n}}{i} - I_0 \quad (5.2)$$

де R – розмір щорічних грошових надходжень.

Цей показник вказує на чистий прибуток, отриманий господарством від моменту початку реалізації проекту до його завершення. Значення NPV, рівне нулю, свідчить про те, що при існуючому рівні процентної ставки отримані прибутки, враховуючи часовий фактор, повністю витрачаються на погашення інвестиційних витрат.

Використання власних фінансових ресурсів господарства для капітальних вкладень відображається в наведених залежностях. У випадку недостатньої власної фінансової бази можна використовувати кредитні ресурси. Такий підхід дозволяє розширити можливості господарства для виконання проектів, на які не вистачає коштів, але накладає обмеження на очікувані прибутки через необхідність сплати відсотків за кредитом і повернення запозиченої суми.

У випадку кредитного фінансування потоки платежів розглядаються як дві послідовні складові: інвестиційні витрати та чистий прибуток. Оскільки термін виконання інвестицій (строк погашення кредиту) зазвичай менший, ніж час отримання прибутку від інвестицій, формула для NPV може бути виражена так:

$$NPV = \sum_{t=1}^{n_1} (R_t - I_t) \cdot v^t + \sum_{t=n_1+1}^n R_t \cdot v^t \quad (5.3)$$

де I_t – інвестиційні витрати в t -м році (величина періодичного платежу по погашенню кредитної суми); v^t – дисконтний множник по ставці i , визначеної з залежності;

$$v^t = (1 - i)^{-t} \quad (5.4)$$

$n1$ – термін погашення кредиту.

Найпоширенішим методом погашення кредитних сум у банківській практиці є система амортизації рівними анuitетами. Анuitет складається з двох частин: суми погашення основного боргу та виплати відсотків за цей борг. У цьому контексті величину анuitету I_t можна обчислити за наступною формулою:

$$I_t = K \cdot \frac{j}{1 - (1+j)^{-n1}} \quad (5.5)$$

де K – сума кредиту; j – ставка банківського відсотка.

Таким чином, з врахуванням попередньої формули ми отримаємо:

$$NPV = \sum_{t=1}^{n1} (R_t - K \cdot \frac{j}{1 - (1+j)^{-n1}}) \cdot v^t + \sum_{t=n1+1}^n R_t \cdot v^t$$

Розмір чистої теперішньої вартості проекту сильно залежить від величини норми прибутковості капіталу i . Згідно з останньою формулою для NPV, збільшення ставки прибутковості призводить до скорочення (зменшення) чистої теперішньої вартості, і при певному значенні i вона досягає нульового рівня.

Рівень прибутковості, при якому чисті річні грошові надходження рівні початковим інвестиціям, визначає внутрішню норму прибутковості (IRR) проекту. IRR є певним пороговим значенням для норми прибутковості капіталу. Значення IRR можна отримати, розв'язавши рівняння $NPV=0$ відносно i . Для приблизного розв'язання цього рівняння можна скористатися відомим виразом

[17]:

$$IRR = i_1 + \frac{NPV(i_1)}{NPV(i_1) - NPV(i_2)} \cdot (i_2 - i_1) \quad (5.6)$$

де i_1 – значення відсоткової ставки, при якій величина NPV ще не від’ємна (має позитивне значення); i_2 – значення відсоткової ставки, при якій величина NPV має найбільше від’ємне значення.

Прийняття інвестиційного проекту визначається умовою, що рівень відсотків проекту для інвестора i не перевищує внутрішню норму прибутковості $i < IRR$. В іншому випадку, проект вважається неефективним.

Дисконтований термін окупності $n_{ок}$ – це розрахунковий період, необхідний для повного покриття інвестиційних витрат за рахунок отриманих прибутків, при дисконтуванні обох потоків за певною відсотковою ставкою.

Його можна визначити за формулою:

$$n_{ок} = - \frac{\ln(1 - \frac{I_0 \cdot i}{R})}{\ln(1 - i)} \quad (5.7)$$

Аналіз економічної ефективності заміни серійної техніки модернізованим сільськогосподарським обладнанням проведено відповідно до стандартної методики. В результаті оптимізації отримано графіки витрат енергоресурсів за

термінами та видами виконуваних робіт, а також всі необхідні дані для аналізу

економічної ефективності капітальних вкладень в комплекс ґрунтообробних машин для Verti Till. Техніко-економічні характеристики базового і модернізованого варіантів представлені в таблиці 4.2.

Оцінка ефективності капітальних вкладень, спрямованих на оновлення машинно-тракторного парку, виконана відповідно до визначеної раніше методики. У розрахунках використовувались актуальні на момент аналізу ціни на сільськогосподарську техніку і вироблену продукцію

Таблиця 5.1 – Схема модельної сівозміни і врожайності сільськогосподарських культур (загальна посівна площа 2500 га).

Культура	Врожайність, ц/га	Площа, га
Посівна сівозміна		
Чорний пар	0	240
Озима пшениця	40	240

Озима пшениця	32	240
Кукурудза на силос	240	240
Озима пшениця	35	240
Зернобобові	25	240
Озима пшениця	38	240
Кукурудза на зерно	40	240
Ярий ячмінь	32	240
Соняшник	20	240
Кормова сівозмінна		
Озиме жито на зелений корм	160	20
Однорічні трави на зелений корм	180	20
Овес і горох на зелений корм	160	20
Багаторічні трави на зелений корм	160	20
Кукурудза на зелений корм	200	20

Таблиця 5.2 – Техніко-економічна характеристика експлуатації агрегату

для Verti Till.

Показник	Варіант		
	Модернізований, тис. грн.	Базовий, тис. грн.	Зміни, тис. грн.
Заробітна плата	248,4	250,1	-1,7
Витрати на ИММ	158,8	159,2	-0,4
Експлуатаційні витрати	5422	5463	-41
Капітальні вкладення в МТП	21931	22385	-444

Оцінка проводилась для двох основних умов: використання власних вільних грошових коштів і залучення позичкового капіталу. Під час розрахунків застосовувались наступні спрощення:

1. Тривалість реалізації інвестиційного проекту визначалась як середній нормативний термін експлуатації технічних засобів, рівний восьми рокам.
2. Ставка розрахункового відсотка (коефіцієнт дисконтування v) визначалась як прибуток одного з доступних інвестору(ам) альтернативних вкладень його капіталу з гарантованим прибутком – ставка відсотків по банківським депозитам рівна 12% річних.
3. Умови надання кредиту включали термін погашення 5 років, ставку банківського відсотка – 22% річних, погашення однаковими анuitетами (платежами).

4. Під чистим річним прибутком розумілась щорічна економія засобів в результаті використання більш продуктивної техніки.

Отримані в результаті розрахунків дані зведені в таблицю 4.3.

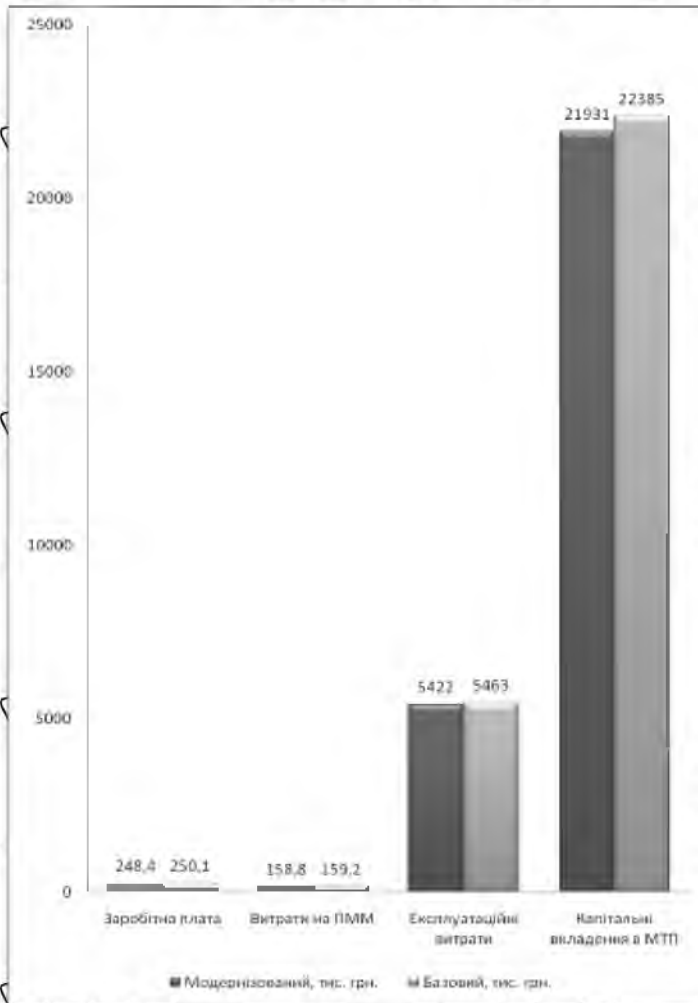


Рисунок 5.1 Показники ефективності використання базового і модернізованого варіантів агрегату для Vertical Tillage.

Проведений аналіз даних у таблиці вказує на те, що ефект від придбання модернізованого агрегату для вертикального обробітку ґрунту склав 133,4 тис. грн. за весь період експлуатації (8 років), якщо фінансування здійснюється за рахунок власних вільних грошових коштів підприємства. Внутрішня норма прибутковості IRR склала 37,6% при дисконтному терміні окупності 3,1 роки. Це свідчить про те, що при ставці альтернативної прибутковості капіталу менше, ніж знайдене значення $IRR=37,6\%$, проект є ефективним. Використання запозиченого капіталу для цих цілей зменшує чисту теперішню вартість проекту на 33,8 тис. грн.

Таблиця 5.3 – Результати розрахунку показників ефективності

Показники	Засоби	
	Власні	Запозичені
Чиста поточна вартість NPV, тис. грн.	133,4	99,6
Внутрішня норма прибутковості IRR, %	37,6	Не визначались
Термін окупності n_{ok} , років	3,1	Не визначались

Проведені розрахунки вказують на ефективність заміни серійного агрегату на модернізований, що дозволяє досягти окупності впровадження модернізованої конструкції протягом 3,1 року за умов кредитного фінансування, банківських ставок та альтернативної дохідності.

На рисунку 5.1 представлені показники ефективності використання базового і модернізованого варіантів машинно-тракторного парку [18-21].

ВИСНОВКИ

У представленій магістерській кваліфікаційній роботі розглянуто та проведено аналіз агрегатів для вертикального обробітку ґрунту. Ознайомились із будовою, класифікацією та різновидами комбінацій котків різних типів, принципом роботи робочих органів та агрегатів в цілому. На основі проведеного аналізу розроблено власну конструкцію орного агрегату при вертикальному обробітку ґрунту. Основу розробленої конструкції складає дисковий робочий орган з вертикальною стійкою і пружним елементом, завдяки якому робочий орган здійснює коливання і розрихлю та розуцільнює нижній шар ґрунту, в результаті чого в ґрунті зароджуються мікротріщини, які сприяють проникненню в нього повітря та вологи. Це приводить до кращого росту рослин і підвищенню врожайності.

Здійснені розрахунки конструкції агрегату для вертикального обробітку ґрунту, а саме обґрунтовано конструктивні параметри робочого органу, знайдено необхідні зусилля для забезпечення міцності та надійної роботи всього агрегату. Наведено рекомендації щодо вибору кута атаки колтерів для ефективного обробітку ґрунту за технологією Vertical Tillage та обґрунтовано інші параметри агрегату.

Проведено динамічний аналіз руху орного агрегату з вертикальною обробкою ґрунту. Для проведення динамічного аналізу орний агрегат представлено у вигляді двомасової динамічної моделі, де першою масою виступає тяговий трактор, а другу – власне сам орний агрегат вертикального типу. На базі динамічної моделі побудовано математичну модель орного агрегату, яка являє собою систему двох нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку. Для розв'язування цих рівнянь використано чисельні методи з використанням комп'ютерної програми. В результаті проведеного аналізу визначені кінематичні, динамічні та енергетичні характеристики орного агрегату з вертикальною обробкою ґрунту, які показали значні перевантаження елементів конструкції орного агрегату.

Для зменшення динамічних навантажень та енергетичних витрат здійснено оптимізацію режиму пуску орного агрегату. Тут в якості критерію оптимізації використано середньоквадратичне значення рушійного зусилля приводного механізму базового трактора. В результаті проведеної оптимізації до мінімуму зведена дія динамічних навантажень та енергетичних витрат

Розроблені заходи з охорони праці, яких необхідно дотримуватись при експлуатації агрегатів, що працюють за технологією Vertical Tillage. Вказано всі запобіжні заходи до початку роботи, під час виконання технологічних операцій та після закінчення роботи орного агрегату. Також розроблено порядок дій при появі аварійних ситуацій. Також наведено правила, стадії та регламентні норми технічного обслуговування і ремонту, які повинні проходити агрегати для вертикального обробітку ґрунту.

Також в магістерській кваліфікаційній роботі здійснено розрахунок економічної ефективності удосконалення конструкції агрегату Verti Till при вертикальній обробці ґрунту.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://www.velesagro.com/products/universal-unit-zeus/238/>

2. <https://www.youtube.com/watch?v=W8cDD9hspkI>

3. <https://www.youtube.com/watch?v=9HEJCOQBRkE>

4. Matthew J. Darr. "Precision Ag Technology Savings" (2012)

URL: http://works.bepress.com/matthew_darr/47/

5. <https://propozitsiya.com/ua/vitchyznyana-tehnika-dlya-vertikalnogo-gruntoobrobitku>

6. <https://www.farm-equipment.com/articles/10122-what-is-vertical-tillage-anyway>

7. <https://agroexpert.ua/iak-i-chym-hotuvaty-grunt-do-sivby/>

8. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т.2. - 7-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1992.- 784 с., ил

9. Економіка сільського господарства : навч. посібник для студ. вищих навч.

закл. / В. К. Збагарський [та ін.] ; ред.: Василь Збарський, Віктор Мацибора. - К.

: Каравела, 2010. - 279,[1] с. : табл., іл. - (Сер. "Українська книга"). - Бібліогр.: с. 273-279.

10. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку [] : навчальний посібник для студентів аграрних вищих закладів освіти III - IV рівнів

акредитації зі спеціальності "Механізація сільського господарства" / Дмитро

Войтюк, Степан Яцун Михайло Довжик; за ред. :Дмитра Войтюка. - Суми : Університетська книга, 2008. - 544 с. : табл. - Бібліогр. : с. 543-544.

11. Технологія сільськогосподарського машинобудування : Підручник для

вищих технічних та аграрно-технічних навчальних закладів / Богдан Гевко, Іван

Гевко, Дмитро Радик; Під ред. Богдана Гевка,. - К. : Кондор, 2006. - 490 с. : іл. -

Бібліогр.: с. 489-490.

12. Методи і принципи проектування сільськогосподарських машин і агрегатів : навчальний посібник / Костянтин Шмат, Петро Сисолін, Олександр Самарін, Євген Бондарев ; М-во освіти і науки України, Херсонський держ. техн. ун-т. - Херсон : ОЛДІ-плюс, 2009. - 131,[1] с. : іл. - Бібліогр. с. 130-131. - Предм. указ.: с. 537-540.

13. Медведєв , В. В. Агровимоги до технології і знарядь передпосівного обробітку чорноземних ґрунтів [Текст] / В. В. Медведєв , І. В. Пліско [и др.] // Вісник аграрної науки. - 2016. - № 3. - С. 43-48. - Бібліогр. в кінці ст.

14. Головчук, Андрій Федорович. Експлуатація та ремонт сільськогосподарської техніки [Текст] : підручник : у 3-х кн. / Андрій Головчук, Валерій Орлов, Володимир Марченко. - К. : Грамота, 2005 - . - (Сер. "Професійно-технічна освіта").

15. Довжик, М. Я. Механічне руйнування ґрунту і його наслідки [Текст] / М.Я. Довжик, С.С. Яцун // Вісник Сумського національного аграрного університету / СНАУ. - Суми, 2003. - Вип. 10. - С. 115-119

16. Сільськогосподарські та меліоративні машини [Електронний ресурс] : Підручник; реком. М-вом аграрн. політики Укр. / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін. ; За ред. Д.Г. Войтюка. - Електрон. текстовые дан. - К. : Вища освіта, 2004. - 1 ел. опт. диск (CD-ROM) : ил. - Загл. с контейнера. - Библиогр.: с. 538. - ISBN 966-8081-20-X

17. Сич, В. Техніка для отримання прибутку [Текст] / В. Сич // Пропозиція. - 2004. - №1(105). - С. 96-97

18. Григоров О. В., Петренко О. В. Вантажопідйомні машини : навч. посібник. Х. НТУ «ХПИ». 2006. 304 с.

19. Lee, H. P. Dynamic responses of a beam with a moving mass. Journal of Sound and Vibration. 1996. Vol. 191 (2). P.289–294. doi: 10.1006/jsvi.1996.0122.

20. Oguamanam, D.C.D., Hansen, J.S., Heppler, G.R. Dynamics of a three-dimensional overhead crane system. Journal of Sound and Vibration. 2001. Vol. 242 (3), P. 411–426. doi: 10.1006/jsvi.2000.3375

21. Фераеимьяк, Р.П., Лещев, В.А., Анализ и синтез крановых электромеханических систем. Одесса. СМІЛ. 2008. 192 с.

22. Герасим'як, Р.П., Найденко, О.В., Особливості керування електроприводом механізму вильоту стріли під час обертання крана з підвищеним вантажем. Електромашинобудування та електрообладнання. 2007. Вип. 68. С. 11–15.

23. Ловейкін, В.С., Ромасевич, Ю.О., Ловейкін, А.В., Муштин, Д.І.: Динамічний аналіз руху механізмів зміни вильоту та повороту баштового крана з балочною стрілою. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv, Ukraine. 2020. Vol. 11. No 1, P. 5-11.

24. Loveikin, V., Romasevych, Y., Kadykalo, I., Liashko, A. Optimization of the swinging mode of the boom crane upon a complex integral criterion. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics (Bulgaria)*. 2019. Vol. 49(3), P. 285–296.

25. Найденко, Е.В. Управление электроприводом механизмов горизонтального перемещения с подвешенным грузом. Електромашинобудування та електрообладнання. 2007. Вип. 69. С. 17–22.

26. Loveikin V., Romasevych Y., Shymko L., Mushtin D., Loveikin Y. The optimization of luffing and slewing regimes of a tower crane // *Journal of Theoretical and applied Mechanics* – 2021 – **51**. – P. 421-436.

27. Chwastek S. Optimization of crane mechanism to reduce vibration // *Automation in construction*. – 2020. – **119** – 103335-103344.

28. Loveikin V., Romasevych Y., Kadykalo I., Liashko A. Optimization of the swinging mode of the boom crane upon a complex integral criterion // *J. of Theoretical and Applied Mechanics*. – 2019 – **49**, N 3. – P. 285–296.

29. Loveikin V.S., Romasevich Yu. A., Khoroshun A.S., Shevchuk A.G. Time-Optimal Control of a Simple Pendulum with a Movable Pivot. Part 1 // *Int. Appl. Mech.* – 2018. – **54**, N 3. – P. 358–365.

30. Loveikin V., Romasevych Yu., Liashko A. Crane motor optimization // *Journal Theoretical and Applied Mechanics*. – 2021. – **51**. – P. 65-75.

31. Loveikin V., Romasevych Y., Loveikin A., Lyashko A., Korobko M. Minimization of high frequency oscillations of trolley movement mechanism during steady tower crane slewing // *U.R.B. Sci. Bull., Series D*. – **84**, N 1. – 2022. – P. 31-44.

32. Romasevych Y., Loveikin V., Loveikin Y. Development of new Rotating ring topology of PSO algorithm // 2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology, KhPI Week 2021 – Conference Proceedings. – 2021. P. 79-82

Huissoon, J.P. (1997). Vertical-Tillage. University of Wisconsin Extension. [Online].

Available: <https://datcp.wi.gov/Documents/VolMgtVerticalTillage.pdf>

33. Reeder, R.C., Lueschen, W.E. (2003). What is vertical tillage? University of Minnesota Extension. [Online]. Available:

<https://www.ag.ndsu.edu/Publications/crops/what-is-vertical-tillage>

34. Holland, G.J. (2010). Vertical Tillage: Equipment Overview. University of Missouri Extension. [Online]. Available: <https://extension2.missouri.edu/g4271>

35. Al-Kaisi, M. (2011). No-Tillage and Vertical Tillage: How Do They Work?. Iowa State University Extension and Outreach. [Online]. Available:

<https://crops.extension.iastate.edu/cropnews/2011/05/no-tillage-and-vertical-tillage-how-do-they-work>

36. Shafroth, E. (2012). Vertical Tillage: Advantages and Disadvantages. Penn State Extension. [Online]. Available: <https://extension.psu.edu/vertical-tillage-advantages-and-disadvantages>

37. Scharf, P., Tanner, M. (2013). Vertical tillage: Implications for nutrient management. University of Missouri Extension. [Online]. Available:

<https://extension2.missouri.edu/g4273>

38. Lauer, J. (2014). Understanding Vertical Tillage. University of Wisconsin-Madison Extension. [Online]. Available:

<https://ipcm.wisc.edu/blog/2014/06/understanding-vertical-tillage/>

39. Nafziger, E. (2015). The Role of Vertical Tillage in No-Till Systems. University of Illinois Extension. [Online]. Available:

<https://farmdocdaily.illinois.edu/2015/04/the-role-of-vertical-tillage-in-no-till-systems.html>

40. Mahoney, K.J., McConkey, B.G. (2016). Vertical Tillage. Government of Saskatchewan. [Online]. Available:

<https://www.saskatchewan.ca/business/agriculture-natural-resources-and>

industry/agribusiness-farmers-and-ranchers/crops-and-irrigation/soils-land-and-crops/crop-production/production-technology/vertical-tillage

41. Busscher, W.J. (2017). Vertical Tillage. North Carolina State University Extension. [Online]. Available: <https://content.ces.ncsu.edu/vertical-tillage>

42. Gardisser, D., Weirich, J. (2018). Vertical Tillage in Crop Production. Kansas State University Research and Extension. [Online]. Available: <https://www.bookstore.ksre.ksu.edu/pubs/MF3373.pdf>

43. Munkvold, G. (2019). Vertical Tillage Tools and Function. Iowa State University Extension and Outreach. [Online]. Available: <https://crops.extension.iastate.edu/cropnews/2019/03/vertical-tillage-tools-and-function>

44. Reeder, R.C., Lueschen, W.E. (2020). Vertical Tillage: Considerations for Iowa. Iowa State University Extension and Outreach. [Online]. Available: <https://crops.extension.iastate.edu/cropnews/2020/03/vertical-tillage-considerations-iowa>

45. Kharif, O. (2021). Understanding Vertical Tillage. Purdue University Extension. [Online]. Available: <https://extension.purdue.edu/extmedia/ag/AE/AE-110.html>

46. Huissoon, J.P. (1997). Vertical-Tillage. University of Wisconsin Extension. [Online]. Available: <https://datcp.wi.gov/Documents/VolMgtVerticalTillage.pdf>

47. Reeder, R.C., Lueschen, W.E. (2003). What is vertical tillage? University of Minnesota Extension. [Online]. Available: <https://www.ag.ndsu.edu/Publications/crops/what-is-vertical-tillage>

48. Holland, G.J. (2010). Vertical Tillage: Equipment Overview. University of Missouri Extension. [Online]. Available: <https://extension2.missouri.edu/g4271>

49. Al-Kaisi, M. (2011). No-Tillage and Vertical Tillage: How Do They Work?. Iowa State University Extension and Outreach. [Online]. Available: <https://crops.extension.iastate.edu/cropnews/2011/05/no-tillage-and-vertical-tillage-how-do-they-work>

50. Shafroth, E. (2012). Vertical Tillage: Advantages and Disadvantages. Penn State Extension. [Online]. Available: <https://extension.psu.edu/vertical-tillage-advantages-and-disadvantages>

51. Scharf, P., Tanner, M. (2013). Vertical tillage: Implications for nutrient management. University of Missouri Extension. [Online]. Available: <https://extension2.missouri.edu/g4273>

НУБІП | УКРАЇНИ

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ДОДАТКИ

НУБІП І УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ