

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет (ННІ) КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ

УДК 631.361.022

ПОГОДЖЕНО ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Декан факультету (Директор ННІ) Завідувач кафедри
конструювання та дизайну конструювання машин і обладнання
(назва факультету (ННІ)) (назва кафедри)

Ружи́ло З.В.

Ловейкі́н В.С.

(підпис) “ ” 20 22 р. (ННБ) (підпис) “ ” 20 22 р. (ПІБ)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему Оптимізація режиму руху електротрактора

Спеціальність 133 – Галузеве
машинобудування (код назва)

Освітня програма Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва
Магістерська програма

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова

Керівник магістерської роботи

к.т.н., ст.викладач

Ляшко А.П.

д.т.н., професор

Ловейкі́н В.С.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

(ПІБ)

Виконав Бундалевський О.В.
(підпис) (ПІБ студента)

КИЇВ – 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (ННІ) КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри конструювання

машин і обладнання

д.т.н., професор Ловейкін В.С.

(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)

“ ” 2020 року

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Бундалевському Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування
(код і назва)

Освітня програма Конструювання, дизайн та випробування обладнання лісового комплексу

(назва)
Магістерська програма

(назва)
Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи Оптимізація режиму руху електротрактора
затверджена наказом ректора НУБіП України від “ 25 ” листопада 2020 р. № 1855 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 15.05.2022
р.

(рік, місяць, число)
Вихідні дані до магістерської роботи електротрактор, загальний вигляд, конструкція
привідний механізм

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз існуючих конструкцій тракторів

2. Розробка математичної моделі динаміки руху механізму переміщення електротрактора

3. Дослідження динаміки руху переміщення електротрактора

4. Оптимізація режиму руху електротрактора

5. Заходи з охорони праці

6. Економічні розрахунки

Дата видачі завдання “ 26 ” листопада 2020 р.

Керівник магістерської роботи Ловейкін В.С.
(підпис) (прізвище та ініціал)

Завдання прийняв до виконання Бундалевський О.В.

(віднос) (прислівник та іменник ступеня)

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РЕФЕРАТ

Магістерська робота включає пояснювальну записку, що складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Пояснювальна записка містить 60 аркушів друкованого тексту.

В магістерській роботі розглянуто загальні відомості про трактори з електричним приводом, їхні конструкції, можливі варіанти виконання тракторів з електричним приводом. Також вказані переваги та недоліки електротракторів.

Встановлені основні напрямки удосконалення конструкції електротракторів.

Відповідно до вихідних даних проведено моделювання динаміки руху трактора з електричним приводом, де розроблено його динамічну модель. На основі динамічної моделі побудовано математичну модель, яка являє собою систему диференціальних рівнянь другого порядку. За допомогою математичної моделі проведено динамічний аналіз електротрактора, який виявив значні динамічні навантаження в його конструкції. Для зменшення динамічних навантажень оптимізовано режим руху приводного механізму.

Ключові слова: електротрактор, електричний привод, тяговий орган, привод, динаміка, моделювання, оптимізація.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ЗМІСТ

НУБІП України

ВСТУП 7

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ І МЕТОДІВ

РОЗРАХУНКУ ТРАКТОРІВ 9

1.1. Загальні відомості про трактори 9

1.2. Переваги електротракторів 16

1.3. Недоліки електротракторів 17

1.4. Загальний огляд конструкції електротрактора 18

1.5. Аналіз конструкцій дійсних електротракторів 21

РОЗДІЛ 2. ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ РУХУ ЕЛЕКТРОТРАКТОРА 24

2.1. Загальні відомості про динаміку та моделювання машини 24

2.2. Побудова динамічної моделі електротрактора 25

2.3. Визначення параметрів динамічної моделі 26

2.4. Побудова математичної моделі динаміки руху електротрактора 29

2.5. Результати динамічного аналізу режиму руху електротрактора 31

РОЗДІЛ 3. ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ РУХУ ЕЛЕКТРОТРАКТОРА 39

3.1. Вибір критерію оптимізації режиму руху 39

3.2. Оптимізація режиму руху електротрактора 41

3.3. Результати оптимізації режиму електротрактора 44

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ 48

4.1. Особливості обчислення витрати палива трактора ДВЗ. 48

4.2. Особливості обчислення витрати палива електротрактора 49

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ 51

5.1. Підготовка машинно-тракторного агрегату 51

5.2. Техніка безпеки при експлуатації електротрактора..... 52

5.3. Вимоги щодо пожежної безпеки..... 54

ВИСНОВОК..... 56

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ..... 57

ДОДАТКИ..... 59

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

НУВБІП УКРАЇНИ

Підвищення соціально-економічного розвитку країни обумовлює інтен-

сифікацію промислового виробництва на базі науково-технічного прогресу і впровадження ефективних методів керування машинами і механізмами. Це приводить до необхідності розглядати процеси промислового виробництва як системи. Особливо це відноситься до процесів створення нових і модернізації існуючих технічних систем із забезпеченням їх ефективного функціонування.

Виходячи з основних положень теорії систем, будь-яка система представляється сукупністю елементів, які знаходяться у відношеннях і зв'язках між собою і утворюють певну цілісність, єдність з метою досягнення певної мети. При цьому вважається, що зв'язки між окремими елементами системи являють собою взаємодіючі в часі процеси, які певним чином об'єктивно організовані, тобто мають свій порядок. Цей порядок базується на причинно-наслідкових зв'язках між явищами. В теорії систем причинний процес називають входом, а процес-наслідок - виходом. Іншим фундаментальним поняттям теорії систем є поняття стану системи.

На базі цих понять теорії систем розв'язуються задачі моделювання, аналізу, синтезу і керування технічних систем різної фізичної природи, зокрема таких транспортних засобів як електротрактори.

Для сучасного машинобудування характерні тенденції до підвищення продуктивності машин, яка пропорційно пов'язана зі збільшенням швидкості та скороченням тривалості перехідних процесів, а також зростанням робочих навантажень, точності виконання робочих операцій, надійності роботи та економічності. Тому висувуються підвищені вимоги до методів розрахунку окремих елементів і систем, що використовуються при конструюванні та проектуванні машин.

Широко розповсюджені статичні методи розрахунку в одних випадках ведуть до невиправданого підвищення коефіцієнту запасу міцності і, як наслідок, до збільшення габаритних розмірів та маси машин, а в інших – приводить до

створення недостатньо надійних машин, які виходять з ладу при динамічних перевантаженнях. Тому дуже важливо знати дійсні динамічні навантаження, які діють на елементи конструкції та приводного механізму електротрактора.

Задовольнити найкращим чином всі виміри до роботи електротракторів можна тільки при сумісному аналізі їхніх режимів руху з урахуванням основних силових факторів. Погодження конструкторських розробок з послідовним розв'язуванням задач динаміки дозволяє вже на стадії проектування електротрактора вибрати його раціональну схему, оцінити точність виконання робочих процесів, енергетичні витрати, характеристики міцності та ергономічності.

Для дослідження динамічних процесів в електротракторі в магістерській роботі пропонується розробити його динамічну модель, яка відображає кінематичні, силові та енергетичні характеристики трактора. На базі динамічної моделі методами теоретичної механіки створюється математична модель електротрактора. В результаті розрахунку математичної моделі для конкретних конструктивних, кінематичних та силових параметрів електротрактора визначаються динамічні навантаження, що діють на елементи конструкції і приводного механізму. Проведений динамічний аналіз дозволяє визначити характер зміни динамічних навантажень і встановити потребу в необхідності оптимізації режиму руху приводного механізму електротрактора.

НУБІП України

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ І МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ТРАКТОРІВ

1.1. Загальні відомості про трактори

Трактор – це транспортний засіб, який часто використовується в сільському господарстві. В основному використовується для буксирування іншої безприводної сільськогосподарської техніки для землеробства, збирання та посіву. Вони споживають багато палива, викиди, які часто містять велику кількість токсичних газів, які серйозно загрожують здоров'ї людини та екологічне середовище. Тому електричний трактор неодмінно стане майбутньою тенденцією. Метою цього дослідження є розробка та впровадження легких, енергозберігаючих та менш забруднюючих електротракторів, що відповідають вимогам існуючих дрібних фермерів, обладнаний безпілотними технологіями та багатьма функціями, щоб допомогти праці та забезпечити потенціал для безпілотної роботи.

В останні роки в міру швидкого розвитку індустріалізації сільськогосподарська техніка поступово замінила традиційні трудомісткі способи землеробства, вдосконалювалася робота, ефективність та знижені вимоги до робочої сили. Це серйозна зміна в історії сільського господарства.

Широке використання сільськогосподарської техніки збільшує використання транспортних засобів з двигунами внутрішнього згорання, що спричиняє забруднення повітря, шкоду навколишньому середовищу та швидке споживання земельних ресурсів. Потреба в сільськогосподарському обладнанні, викликана збільшенням населення світу, більш ніж очевидна.

Сучасна сільськогосподарська техніка досягла межі оптимізації за складністю та ефективністю за сучасною технологією. Крім того, вдосконалення в області приводних технологій в даний час в основному механічні або гідравлічні приводи обмежені. Тому в цій сфері буде зосереджено увагу на електроприводах у майбутньому. Розвиток конструкції трактора тісно

переплітається з його технологічною досконалістю, покращенням екологічних характеристик, підвищенням споживчих якостей. Розгляд цього питання в історичному розвитку показує єдність підходів різних розробників сільськогосподарських тракторів призначення до конструкції трактора, що забезпечує підвищення продуктивності та зниження собівартості робіт відповідно до виконання вимог щодо агрономії та покращення екологічних характеристик.

Для тракторів першого покоління основними завданнями були створення тягового зусилля для виконання сільськогосподарських робіт із максимальною продуктивністю та економічністю їх виконання. Вирішення цих завдань розвивало теорію трактора, уявлення про якість перебігу процесів, дозволяло оптимізувати конструкцію та виконання робіт. В результаті конструкції тракторів різних виробників розвивалися по однаковому напрямку. На сучасних тракторах встановлюються дизельні двигуни з турбонаддувом та електронним управлінням, є системи зниження токсичності газів, що відпрацювали. Трансмісія тракторів або з робочизованою коробкою без розриву потоку потужності, або безступінчаста, що краще дозволяє оптимізувати режим роботи.

Якщо для тракторів малого тягового класу безступінчастість забезпечується механічним варіатором, то інших – гідромеханічними трансмісіями з електронним управлінням. У міру зростання потужності електростанцій та розвитку розгалуженої енергомережі з відновлюваних енергоресурсів будуть затребувані електричні трактори. На перехідному етапі розвитку будуть створюватися трактори з гібридними енергетичними установками, що мають переваги по керованості процесами в машині та зброї, здатні забезпечувати електроенергією сільськогосподарські знаряддя як для них робочих процесів, і з метою забезпечення їх активного приводу до створення тягового зусилля.

Виробництво сільськогосподарської продукції без хороших машин не дозволить ефективно вирішувати продовольчі завдання. Основним джерелом отримання продовольства залишається землеробство та основний

Машиною тут є трактор. Щоб зрозуміти яким він буде, потрібно

подивитися яким шляхом йшов його розвиток і чому. Які завдання він вирішував, і вирішуватиме, з якими сучасними технологіями та енергоресурсами йому працюватимуть у найближчому майбутньому. Поява трактора була не випадковою подією. Тяжка праця хлібороба вимагала залучення продуктів

промислової технології, що дозволяє підвищити продуктивність праці, продуктивність виробництва сільськогосподарської продукції. Поява теплового двигуна, спочатку парового, а потім двигун внутрішнього згоряння було використано на самохідній техніці, в тому числа та сільськогосподарської.

Перевага тракторів перед гужовий тяговою силою відразу ж було оцінено у сільськогосподарському виробництві та чисельність тракторів стрімко зростала,

витісняючи застосування живого праці. Машини створювалися для вирішення тягових завдань у межах тих знань, які були на той час. Відмінність зовнішнього вигляду таких машин підтверджує відсутність єдності теоретичного підходу до створення. Деякі з цих машин представлені на рисунку нижче.



Трактор Бойделя, 1858 г. /
Boydell tractor, 1858



Трактор Пейджа, 1884 г. /
Page tractor, 1884



Трактор фірми "Фаулер", 1887 г. /
Fowler Company tractor, 1887



Трактор Блинова, 1888 г. /
Blinov tractor, 1888



Трактор Маміна, 1910 г. /
Mamin tractor, 1910



Трактор СХТЗ 15/30, 1930 г. /
Tractor SKHTZ 15/30, 1930

Рис. 1.1 Перші трактори

Поява у другій половині 19-го століття двигуна внутрішнього згорання, що має майже вдвічі кращу економічність роботи та меншу питому масу, дало суттєвий поштовх у розвитку транспортних та тягових машин, виробництві для них палива із нафти. Ці двигуни швидко витіснили парові з машин автотракторного призначення та дозволили створювати компактну мобільну техніку, у тому числі та для сільського господарства. Існували кілька підходів до встановлення електроприводів у сільськогосподарських машинах.

Деякі приклади наведені нижче:

У 1954 році International Harvester представив на ринку функцію під назвою Electrall. Ця особливість була пропонується як опція для тракторів Farmall 400 і має підтримувати електричну ферму обладнання та аксесуари. Система, розроблена спільно з General Electric, складалася з 208 В Трифазного генератора змінного струму потужністю 10 кВт підключений кабелями до живильного пристрою.

Генератор також може використовуватися як генеруючий пристрій. Можливі застосування електричних тракторів було багато, але небагато виийшли на ринок.

Наприкінці 1990-х років трактор із комбінацією електрогенератор-мотор, розміщений між дизельним двигуном і трансмісією були розроблені дилером сільськогосподарського обладнання Schmetz в Німеччині.

Ця техніка задіяна у найрізноманітніших операціях із різною інтенсивністю, отже, є зростаючий інтерес до електрифікації, оскільки трансмісія могла б досягти більшої універсальності. Наприклад: гібридна трансмісія могла виконувати важкі експлуатаційні вимоги, поєднуючи потужність ДВЗ та електричну машину. Більше того, правильне управління живленням точки навантаження ДВЗ та ЕМ дозволить підвищити ефективність усієї системи. З іншого боку, працюючи в суто електричному режимі тільки з ЕМ міг бути достатнім для легких операцій. Нещодавні дослідження щодо конструкції включали розробку двигунів з постійними магнітами (PIM) для сільськогосподарських тракторів, у яких Електротрактор був розроблений для

максимальної продуктивності, необхідної для трактора. У цьому прикладі дизайн проводилося з урахуванням теплового еквівалента моменту, що крутить. Ця стратегія дозволила скоротити габарити Електротрактора, що підвищують можливість електрифікації спеціалізованих тракторів.

В середньому час роботи тракторів в автономному режимі становить від 3 до 5 годин. Трактори мають безступінчасту електричну трансмісію, що дозволяє оптимізувати режим роботи електродвигунів як за продуктивністю роботи трактора, так і за економією витрати електроенергії акумуляторів. Максимально можлива електрична потужність акумуляторних батарей перевищує номінальну потужність силових електродвигунів у 1,5-3 рази. Багато уваги приділяється скороченню часу заряду акумуляторних батарей.

У 2019 році фірма John Deere на зльоті дилерів у Валенсії представила нову концепцію електричного трактора у безпілотному виконанні з живленням силових двигунів електричним кабелем. Робота з кабелем забезпечується маніпулятором автоматичного режиму. Електричний зв'язок із зовнішнім джерелом живлення забезпечує безперервну роботу трактора, як і перших зразків, описаних раніше зараз вирішуються електронною системою управління, яка погоджена з робітником знаряддям та з навігаційним обладнанням, здатна використовувати технології точного землеробства та брати участь у системі «Інтелектуальне сільське господарство».

Затребуваними залишаються як трактори з колісним, так і гусеничним двигуном.

Зміна гусеничного рушія для сільськогосподарських тракторів піде у напрямку створення резиноармованої гусениці або її аналога з метою зниження вартості та підвищення ресурсу.

Зразки таких електротракторів періодично з'являються на виставках сільськогосподарської техніки і викликають підвищений інтересу відвідувачів. Серед причин переходу на електричний силовий привід тракторів можна назвати такі:

– забезпечення екологічних вимог до силових агрегатів на тривалу перспективу;

– активний розвиток електричного

автомобільного транспорту та доведені переваги його використання;

– поява на ринку накопичувачів електроенергії з високими питомими показниками за доступними цінами;

– доступні ціни на електричні вузли та електронні системи;

– інтенсивний розвиток електростанцій на відновлюваних ресурсах, які

забезпечують широке покриття територій бути використані для

енергозабезпечення сільськогосподарської техніки;

– широке впровадження електронних систем в управління та оптимізацію процесів, діагностику та захист систем;

– поява електродвигунів з високими питомими енергетичними

характеристиками та ККД, здатними працювати в широкому діапазоні частот обертання;

– отримання техніки з новими технічними характеристиками.

Додатковим основним недоліком при випробуванні цих тракторів була

необхідність підведення електроенергії до трактора та високо енергетичне забезпечення кожного поля. Якщо застосування електроенергії в більшості процесів сільськогосподарського виробництва активно впроваджувалося, то

використання її в такому енергоємному процесі, як обробка ґрунту виявилось не

таким простим. Витрати на обробку одного гектара поля у електротрактора

перевищували в 2-3 рази за порівняно з тракторами, що мають ДВЗ як силовий

агрегат. Разом з тим, відзначалися і такі позитивні властивості цих тракторів, як

високі тягові якості, простота пуску та обслуговування.

Незважаючи на екологічну чистоту електричних тракторів, залишається невирішеним питання екологічно чистого та ресурсоощадного процесу отримання електроенергії. Основна частка в отриманні електроенергії

залишається за тепловими електростанціями, яким потрібно в 2-3 рази більший витрати виконних енергоресурсів для отримання такої ж роботи електричних тракторів у порівнянні з дизельними тракторами. Ця проблема може бути вирішена при переважній більшості електростанцій невідновлюваної енергетики чи появи недорогих паливних елементів.

При розвитку розгалуженої мережі електростанцій з відновлюваних енергоресурсів (сонячні, вітряні, гідравлічні, теплові і т. п.) стануть затребуваними електричні трактори. На перехідному етапі розвитку будуть створюватися трактори з гібридними енергетичними установками, що мають переваги по керуваності процесами в машині та зброї, здатністю забезпечувати електроенергією сільськогосподарські знаряддя як для їх робочих процесів, так і з метою забезпечення їх активного приводу до створення тягового зусилля.

Розглядаючи історію розвитку тракторів сільськогосподарського призначення, можна сказати, що найближчим часом виробники підуть шляхом створення тракторів з ДВЗ, що мають потужність, що перевищує не менш ніж у 2 рази необхідну для тягових завдань у базовій комплектації. Трактори будуть з безступінчастою трансмісією, що дозволяє оптимізувати режим роботи трактора та двигуна. Ці завдання вже зараз вирішуються електронною системою

управління, яка погоджена з робітником знаряддям та з навігаційним обладнанням, здатна використовувати технології точного землеробства та брати участь у системі «Інтелектуальне сільське господарство».

Незважаючи на розробки нових технологічних процесів виробництва продуктів харчування для населення планети, землеробство ще довго залишиться основним процесом виробництва продовольства, та машини для обробки ґрунту будуть затребувані. Основну частку серед них складуть ті, які забезпечать найбільшу продуктивність робіт та продуктивність виробництва продовольства без завдання шкоди навколишньому середовищу, забезпечуючи

високу економічну ефективність.

НУБІП України

1.2. Переваги електротракторів

Такий тип Електротракторів має більше переваг і найважливіші з них розглянемо далі.

НУБІП України

Найголовніше це екологічність та відсутність вихлопних газів. Електромобілі не використовують бензин, дизель, охолоджуючі рідини, моторні оливи, а тому не випускає шкідливих вихлопних газів. Крім того такий вид

НУБІП України

транспорту є безпечним у плані експлуатації, бо при таких параметрах та відсутності обов'язкових розхідників, пожежонебезпечність сильно зменшується.

НУБІП України

При дослідженні всіх аспектів конструкції значно зменшується вартість повного обслуговування так експлуатації. Оскільки електроенергія в рази дешевша за паливо для сільськогосподарської техніки, економія грошей підприємств які мають такі трактори в рази збільшується.

НУБІП України

Відомо що всі електромашини мають значно вищий ККД електродвигуна, порівняно з паливними двигунами. ККД електродвигуна досягає 95%, тоді як двигуни машин внутрішнього згорання лише 45%.

В загальному, конструкція виглядає значно простіше так зменшується конструкція внутрішніх габаритів трактора за рахунок того, що на електродвигун та акумулятори потрібно значно менше місця ніж для ДВЗ.

НУБІП України

Можливість своєчасної підзарядки двигуна як від високовольного зарядного пристрою (зарядної станції), так і від звичайної домашньої електромережі.

Низький рівень шуму завдяки невеликій кількості рухомих частин елетромашини та механічної передачі.

НУБІП України

Також оптимізація території господарства за рахунок непотрібності тримання паливних матеріалів

Зменшення витрат на транспортування росхідників, палива.

Серед додаткових переваг є ще:

Висока плавність ходу із широким інтервалом зміни частоти обертання валу двигуна,

Можливість застосування системи гальмування самим електродвигуном (режим електромагнітного гальма) без використання механічних гальм, що так само спрощує та здешевлює конструкцію електромашин.

При додатковій модернізації господарств та ферм, є можливість сконструювати спеціально циклічну систему при якій буде здійснюватися додаткова економія. На дахах ангарів, гаражів чи фермерських господарств, де

базуються електротрактори сконструювати сонячні панелі, які вдень будуть накопичувати енергію, а вночі, після виконаної роботи, заряджати електромашини.

1.3. Недоліки електротракторів

Крім основних переваг, електротрактор має свої певні недоліки.

Основним недоліком є недосконалість електричних акумуляторів для всіх електромашин. На сьогоднішній день головною метою всіх виробників електромашин забезпечити масове виробництво акумуляторів, які є багатоемні, безпечні та недорогі для електрокарів. Ті акумулятори, які використовуються в більшості моделей електрокарів та електротракторів, працюють при високих температурах, а також є досить дорогими через застосування дорогоцінних металів для їх виробництва.

Другою основною проблемою є те, що акумулятори швидко втрачають свій заряд. Всі акумулятори, які є вироблені та виробляються у даний час дуже довго заряджаються. При цьому більшість енергії акумулятора витрачається не під час роботи, а на обігрів/охолодження машини, живлення бортових систем та інше.

Якщо трактори працювали на господарстві одночасно, через перезарядку неправильно заплановані чи розраховані поставлені задачі на полі чи об'єкті, електротрактори можуть зупинити весь процес, бо їм потрібна буде знову

довгострокова перезарядка.

Третьою основною проблемою є утилізація. На сьогоднішній день є важливим питання безпечної утилізації електричних акумуляторів, адже багато з них містять отруйні речовини та кислоти.

У період одночасного заряду всіх елетротракторів чи електроавтомобілів можливе перевантаження мереж електропостачання.

Порівняно невеликий пробіг електромашин на одній зарядці акумулятора. У середньому одна батарея ємністю до 24 кВт/год чи більше дозволяє електтрактору подолати відстань до 200 км. При використанні додаткових систем а саме: кондиціонування, охолодження, радіо, перевезення додаткового великого вантажу, значно зменшується час використання машини.

Також не дешевим для використання на господарстві недоліком є те що через недосконалу конструкцію акумуляторів завжди є ризик необхідності зміни кумулятора раз в 4-10 років.

1.4. Загальний огляд конструкції електротрактора

Конструкція автомобіля була розділена на чотири частини: дизайн кузова машини, яка є легкою та містить міркування безпеки;

1. потужність та керування транспортним засобом, які забезпечує
2. забезпечує потужність транспортного засобу та охоплює ряд системної інтеграції та безпілотного керування
3. конструкція механізму, що покращує механічні функції та аналізує стан

керування електротрактора;

4. та польові випробування та реалізація всього електротрактора.

Тип трактора і зв'язаний з ним навантажуван, впливають на енергоспоживання та конструкцію електротрактора. Для невеликого електричного трактора розмір, маса і потужність двигуна менше, ніж у трактора великої вантажопідйомності. Даний трактор з прикладу буде використовуватися в основному для ротаційної обробки ґрунтів і оранки, тому опори розраховуються з урахуванням певних особливостей і характеристик.

Так як спроектований електротрактор в основному експлуатується в теплицях, що мають досить пласку місцевість, опір схилу та опір повітря трактора не враховуються. Розглянемо основні вузли трактора на рис 1.1

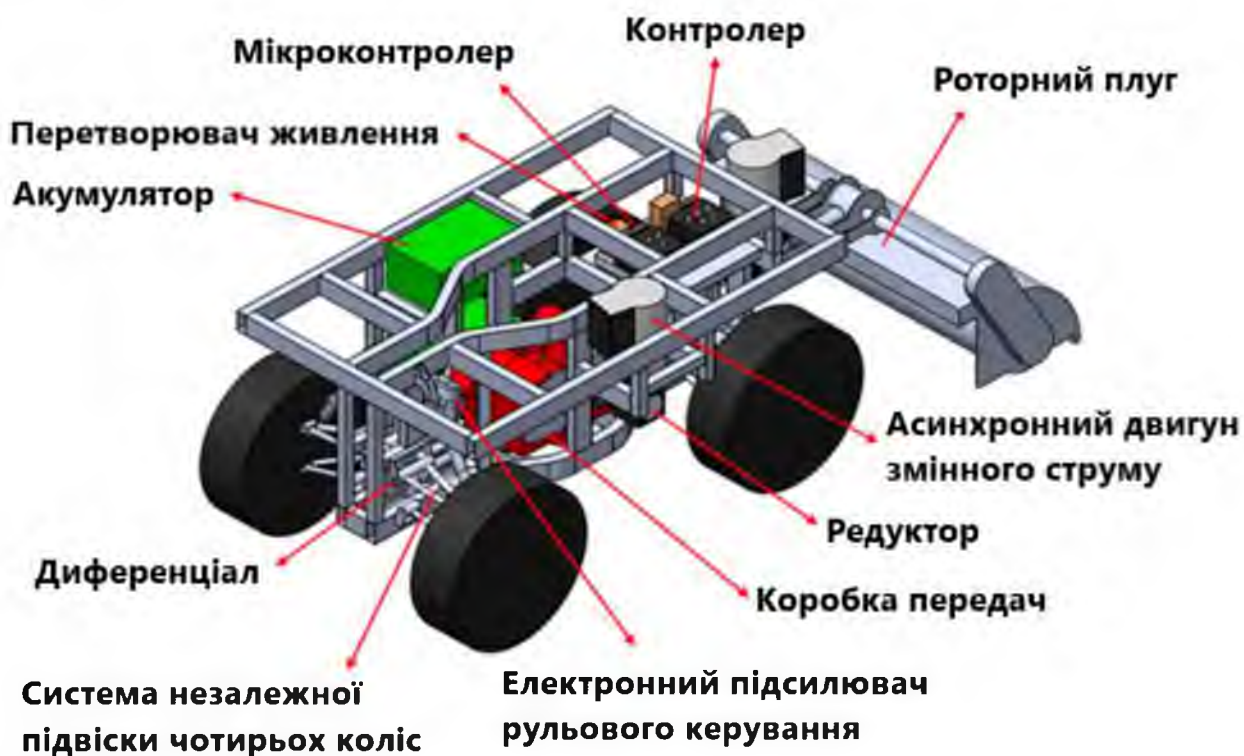


Рис 1.2. Загальна схема основних вузлів прикладу електротрактора.

Крім того, трактори вимагають широкого діапазону зміни зусилля, особливо при роботі з великими навантаженнями, що вимагає вищого вихідного

крутного моменту. Тому редуктор має використовуватися для уповільнення та збільшення крутного моменту залежно від різних умов. Привід двигуна може бути відрегульований та обладнаний прямим та зворотним обертанням для переключення на задню передачу.

При транспортуванні в полі його можна переключити на підвищену передачу для збільшення швидкості. Крім того, під час роботи в полі колеса можуть мати недостатнє зчеплення з дорогою через певну погану місцевість, тому потрібна система повного приводу.

На підставі вищевикладеного аналізу, конфігурація системи живлення електричного трактора у цьому дослідженні показано на рисунку 1.2, в якому викладено схему приводу електротрактора з використанням двигуна, редуктора, диференціала та контролера.



Рис 1.3. Конфігурація системи живлення електричного трактора.

НУБІП України

1.5. Аналіз конструкцій дійсних електротракторів

НУ

НУ



1

1

НУБІП України

Рис 1.4. Електротрактор Fendt e100 Vario.

Компактний електротрактор Fendt e100 Vario визнаний одним із найдешевших в експлуатації та обслуговуванні, також є дуже енергоефективним, безшумним та екологічно чистим. Такий мінітрактор вигідніший у використанні, ніж бензинові або дизельні трактори.

Машина працює від 650 вольтового літій-іонного акумулятора ємністю 100 кВт/год. Батарею можливо перезаряджати до 80% протягом 40 хвилин, використовуючи конектор стандарту IEC 62196 Type 2. Такий штекер став

загальноприйнятим для перезарядки електромобілів у Європі, тоді як в США

віна менш поширена. Як варіант, акумулятор може бути заряджений від вуличної трифазної розетки 400В.

НУБІП України



Рис 1.5. Система роз'ємів живлення трактора

E100 Vario повністю сумісний із існуючим гідравлічним обладнанням, а також має стандартну систему AEF роз'ємів для підключення електричної техніки.

Крім того, електротрактор наділили можливістю короткострокового збільшення потужності до 150 кВ.

Система кондиціонування кабіни, а також охолодження батареї та електроніки здійснюється за рахунок електричного теплового насоса з високою енергоефективністю. Завдяки синхронізації e100 Vario зі смартфоном, температура в кабіні може бути підвищена або знижена заздальгідь. Через мобільний додаток можна також дистанційно контролювати рівень заряджання батареї.

Через те, що E100 Vario працює від акумуляторів, він є дуже енергоефективним. Якщо ферма має власні потужності з виробництва електрики з біопалива, сонячної енергії або вітру, то такий трактор взагалі не залишить у природі жодного вуглецевого сліду. Маючи емний акумулятор, трактор може

зберігати електроенергію та ділитися нею з іншими споживачами або віддавати назад у мережу.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 2. ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ РУХУ ЕЛЕКТРОТРАКТОРА

2.1. Загальні відомості про динаміку та моделювання машин

При роботі транспортних машин і механізмів, зокрема електротракторів, на ділянках перехідних процесів (пуск, гальмування, зміна швидкості руху, аварійна зупинка), в елементах конструкції та приводних механізмах виникають значні динамічні навантаження. Вони негативно впливають на їхню продуктивність, надійність та енергетичні витрати. Для зменшення негативного впливу динамічних навантажень виникає потреба у виявленні причин появи цих навантажень і встановлення напрямків зменшення цих навантажень. Тому виникає необхідність в дослідженні динамічних процесів в процесі руху таких транспортних засобів як електротрактори. Для проведення динамічних досліджень необхідно побудувати динамічну модель транспортного засобу.

При переході від реальної механічної системи електротрактора до його динамічної моделі нехтують такі фізичними чинниками, які несуттєві для даного розрахунку або дослідження [Ошибка! Источник ссылки не найден].

В загальному випадку при складанні динамічної моделі механічної системи електротрактора необхідно враховувати зосереджені маси, розподілені маси по довжині елементів, пружність елементів, залежності рушійних та гальмівних сил електродвигуна від частоти обертання його ротора, зміну приведених мас тощо.

У кожному конкретному випадку одні фізичні чинники є головними, а інші – другорядними. Динамічна модель електротрактора не повинна бути громіздкою, вона повинна відображати всі елементи механічної системи і основні її фізичні властивості, бути нескладною для спрощення розрахунків [Ошибка! Источник ссылки не найден].

Розв'язування задач динаміки машин починається зі збору фактів та даних наукових спостережень. На їх основі проводиться формалізація роботи машини чи механізму і будується її динамічна модель, тобто виділяються її найбільш суттєві риси та властивості й проводиться їх опис та графічне зображення.

Динамічна модель повинна задовольняти дві головні вимоги:
бути в необхідній мірі адекватною реальній механічній системі й,
наскільки це можливо, відображати основні її фізичні властивості;

бути не дуже складною, щоб розв'язування задачі динаміки не було досить
трудомістким.

Побудова динамічної моделі електротрактора

На рис.2.1 представлено кінематичну схему приводного механізму
електротрактора. На цій схемі прийняті такі позначення: 1 – приводний
електродвигун; 2 – муфта зчеплення; 3 – гальмівний пристрій; 4 – передавальний
механізм; 5 – приводні колеса; 6 – рамна конструкція.

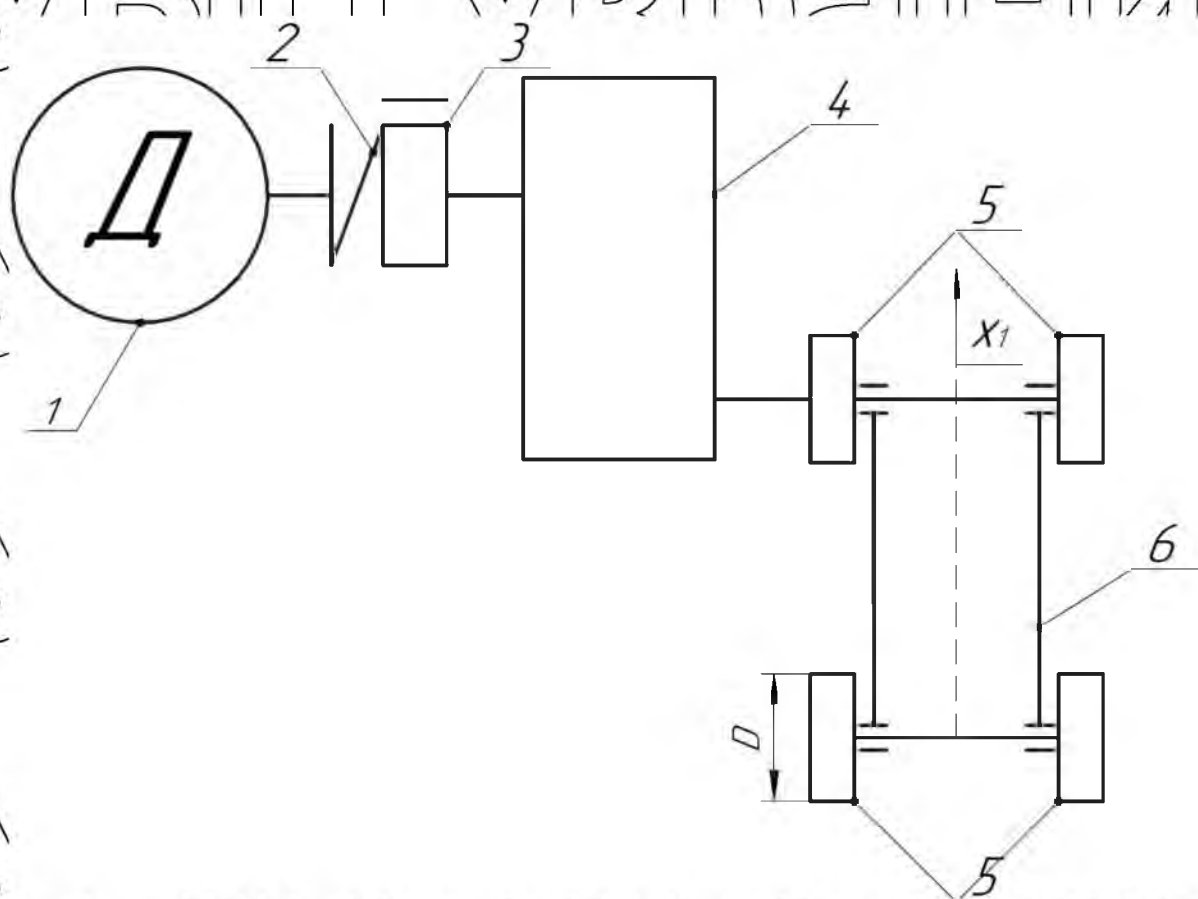


Рис. 2.1 – Кінематична схема приводного механізму електротрактора

При побудові динамічної моделі поділимо електротрактор на дві частини.
До першої частини віднесемо приводний механізм з елементами 1, 2, 3 і 4, а до
другої - власне сам трактор з елементами 5 і 6. Будемо вважати, що всі елементи

електротрактора є абсолютно твердими тілами, окрім елементів передавального механізму, які володіють пружними властивостями і зведені до приводного вала електротрактора. Тоді електротрактор можна представити у вигляді двомасової динамічної моделі, яка наведена на рис.2.2.

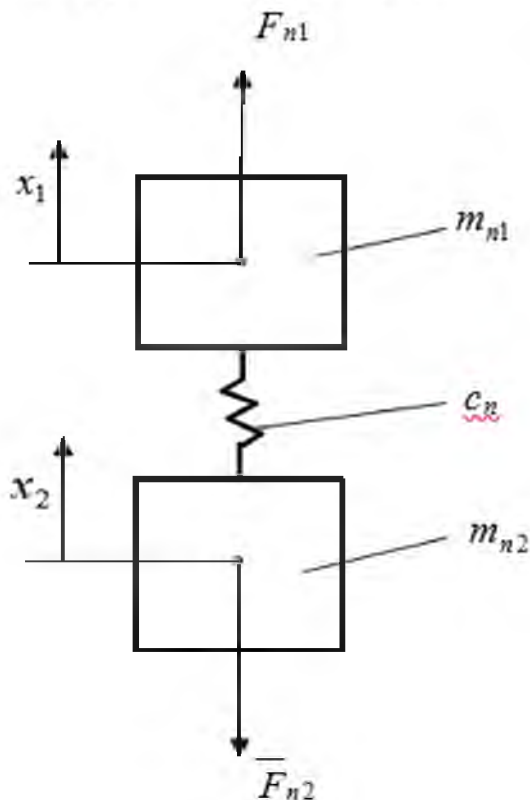


Рис. 2.2. Динамічна модель електротрактора

В цій моделі 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. Параметри m_{n1} , m_{n2} , F_{n1} , F_{n2} , c_n називаються параметрами динамічної моделі.

2.2.

Визначення параметрів динамічної моделі

Приведена маса m_m визначається з умови рівності кінетичних енергій першої частини механізму T_{P1} (див. кінематичну схему (рис. 2.2), тобто (рис. 3.1) і першої частини динамічної моделі

$$T_{P1} = T_{M1}. \quad (2.1)$$

T_p - кінетична енергія першої частини реальної системи електротрактора;

T_m - кінетична енергія першої частини динамічної моделі електротрактора.

Кінетична енергія першої частини динамічної моделі визначається такою залежністю

$$T_m = \frac{1}{2} m_{п1} * \dot{x}_1^2 \quad (2.2)$$

Кутова швидкість приводного колеса електротрактора має такий вигляд

$$\omega_K = \frac{2x_1}{D}.$$

Кутова швидкість електродвигуна визначається за такою формулою:

$$\omega_{дв} = \omega_K * u = \frac{2x_1}{b} u.$$

Кінетична енергія першої частини реальної системи електротрактора визначається такою залежністю

$$T_p = \frac{1}{2} (J_p + J_{M-\Gamma}) \omega_{дв}^2 \delta + \frac{1}{2} J_K \omega_K^2 + \frac{1}{2} m_B \dot{x}_1^2$$

$$= \frac{1}{2} \delta (J_p + J_{M-\Gamma}) \frac{4x_1^2}{D^2} u^2 + J_K \frac{4x_1^2}{D^2} + \frac{1}{2} m_B \dot{x}_1^2$$

$$T_p = \frac{x_1^2}{2} \left[\delta (J_p + J_{M-\Gamma}) \frac{4u^2}{D^2} + \frac{8J_K}{D^2} + m_B \right]. \quad (2.3)$$

Прирівнявши вирази (3.2) і (3.3), отримаємо таке рівняння

$$\frac{1}{2} m_{п1} \dot{x}_1^2 = \frac{x_1^2}{2} \left[4\delta (J_p + J_{M-\Gamma}) \frac{u^2}{D^2} + \frac{8J_K}{D^2} + m_B \right].$$

З отриманого рівняння знайдемо першу приведену масу динамічної моделі електротрактора, яка виражається такою залежністю

$$m_{п1} = \left[4\delta (J_p + J_{M-\Gamma}) \frac{u^2}{D^2} + \frac{8J_K}{D^2} + m_B \right], \quad (2.4)$$

де $\delta = 1,1$ - коефіцієнт який враховує інерційність елементів передавального механізму приводу;

J_P – момент інерції ротора електродвигуна, який приймає таке числове значення

$$J_P = 1,02 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$J_{M-\Gamma}$ – момент інерції муфти з гальмом, який приймає таке числове значення

$$J_{M-\Gamma} = 0,79 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

J_K – момент інерції колісної пари візка визначається такою залежністю

$$J_K = \frac{m_B}{2} * \frac{D^2}{4} = \frac{m_B}{8} D^2$$

І приймає таке числове значення

$$J_K = \frac{m_B}{8} D^2 = \frac{2100}{8} 0,25^2 = 16,4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

де m_B – маса візка;

D – діаметр колеса;

x_1, x_2 – координати центрів мас візка і електротрактора;

m – маса електротрактора.

Рухайна сила електродвигуна $F_{п1}$, яка приведена до приводного колеса,

визначається з умови рівності потужностей сил реального механізму і сил

моделі.

$$P_M = P_P \quad (2.5)$$

Потужність сил першої частини моделі визначається залежністю

$$P_M = F_{п1} * \dot{x}_1. \quad (2.6)$$

Потужність сил першої частини реальної системи електротрактора

становить

$$P_P = M_{дв} * \omega_{дв} = M_{дв} * \frac{2\dot{x}_1}{D} u. \quad (2.7)$$

Прирівнявши вирази (2.6) і (2.7), отримаємо

$$F_{п1} \dot{x}_1 = M_{дв} \frac{2\dot{x}_1}{D} u.$$

З отриманого рівняння знаходимо приведену силу першої маси динамічної моделі

$$F_{\text{п1}} = \frac{2M_{\text{дв}} u}{D} \eta \quad (2.8)$$

де η – ККД від двигуна до візка електротрактора, який приймає таке значення

$$\eta = 0,93.$$

Приведена сила другої маси динамічної моделі електротрактора дорівнює:

$$F_{\text{п2}} = (m_{\text{в}} + m + m_{\text{з.п.}}) g * f * K_{\text{р}} \quad (2.9)$$

де f і $K_{\text{р}}$ – коефіцієнти;

$$f = 0,01; \quad K_{\text{р}} = 2,5$$

Момент на валу електродвигуна визначається за формулою Клосса:

$$M_{\text{дв}} = \frac{2M_{\text{кр}}}{\frac{S_{\text{дв}}}{S_{\text{кр}}} + \frac{S_{\text{кр}}}{S}} \quad (2.10)$$

Номинальний момент на валу електродвигуна визначається залежністю:

$$M_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{\omega_{\text{н}}}$$

Номинальна кутова швидкість електродвигуна має вигляд:

$$\omega_{\text{н}} = \frac{\pi n_{\text{н}}}{30}$$

Критичний момент електродвигуна визначається виразом:

$$M_{\text{кр}} = M_{\text{н}} \lambda$$

λ – коефіцієнт перенавантаження електродвигуна, який становить

$$\lambda = 2,5;$$

$S = 1 - \frac{\omega_{\text{дв}}}{\omega_{\text{н}}}$ – ковзання електродвигуна;

$S_{\text{н}}$ – номінальне ковзання електродвигуна, яке визначається залежністю

$$S_{\text{н}} = 1 - \frac{\omega_{\text{дв}}}{\omega_{\text{н}}}$$

$S_{\text{кр}}$ – критичне ковзання електродвигуна, яке визначається залежністю

$$S_{\text{кр}} = S_{\text{н}} (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}).$$

2.3.

Побудова математичної моделі динаміки руху електротрактора

На основі побудованої динамічної моделі побудуємо математичну модель електротрактора, для цього використаємо найбільш простий метод динамічної рівноваги. Побудуємо математичну модель динаміки руху

електротрактора обраним методом, суть якого полягає в тому, що розглядається динамічна рівновага кожної з приведених мас і для них

складаються рівняння рівноваги. Розчленуємо дві маси динамічної моделі на окремі маси і замінимо в'язь пружного елемента реакцією в'язі. Крім того, до кожної з мас прикладемо сили інерції. В результаті таких

перетворень динамічна модель (рис.3.2) набуде вигляду, який представлено на рис.3.3.

Після цього розглянемо динамічну рівновагу кожної з виділених мас. Для цього спроектуємо всі сили, що діють на кожну з мас на вертикальну вісь, оскільки всі сили

діють вздовж вертикальної осі і запишемо для них рівняння рівноваги.

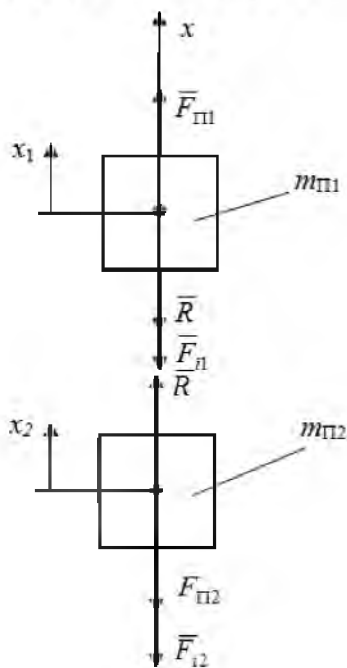


Рис. 2.3

В результаті чого будемо мати:

– для першої маси

$$F_{П1} - R - F_{П1} = 0 ; \quad (2.11)$$

– для другої маси

$$R - F_{П2} - F_{П2} = 0 . \quad (2.12)$$

Розв'язуючи спільно рівняння (2.11) та (2.12), знайдемо закон руху електротрактора для динамічної моделі, що наведена на рис. 2.2.

У рівняннях (2.11) та (2.12) вирази реакції та сил інерції мають вигляд

$$R = c_{П}(x_1 - x_2) \quad (2.13)$$

$$F_{П1} = m_{П1} \cdot \ddot{x}_2 ; \quad (2.14)$$

$$F_{П2} = m_{П2} \cdot \ddot{x}_2 , \quad (2.15)$$

НУБІП України

Після підстановки виразів (2.13), (2.14), (2.15) у рівняння (2.11) та (2.12) отримаємо систему диференціальних рівнянь, які будуть представляти математичну модель динаміки руху механізму підйому вантажу

$$\begin{cases} F_{П1} - m_{П1} \cdot \ddot{x}_1 - c_{П1} \cdot (x_1 - x_2) = 0, \\ c_{П1} \cdot (x_1 - x_2) - F_{П2} - m_{П2} \cdot \ddot{x}_2 = 0. \end{cases} \quad (2.16)$$

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

$$\begin{cases} m_{П1} \cdot \ddot{x}_1 = F_{П1} - c_{П1} \cdot (x_1 - x_2), \\ m_{П2} \cdot \ddot{x}_2 = -F_{П2} + c_{П1} \cdot (x_1 - x_2). \end{cases} \quad (2.17)$$

В систему рівнянь (2.17) необхідно ввести вирази приведених мас $m_{П1}$ та $m_{П2}$,

приведених сил $F_{П1}$ та $F_{П2}$ і коефіцієнта жорсткості $c_{П1}$.

В результаті розв'язку системи (2.17) з урахуванням виразів

$$m_{П1}, F_{П1}, F_{П2}$$

отримуємо закон динаміки руху електротрактора.

Вихідні дані для розрахунку:

$$Q=1200\text{кг}, V=2.5\text{м/с}, H=12\text{м}, P=800\text{Вт}, MП1=1909\text{Н}\cdot\text{м}, WП1=58.4\text{рад/с}, WП2=62.8\text{рад/с}, \lambda=2.6, M_{\text{max}}=3118\text{Н}\cdot\text{м}, U=2.71, r=0.827, S_{кр}=0.08, D=260\text{мм},$$

$$M_{П1}=2936\text{кг}, M_{П2}=1500\text{кг}, C=1.6 \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

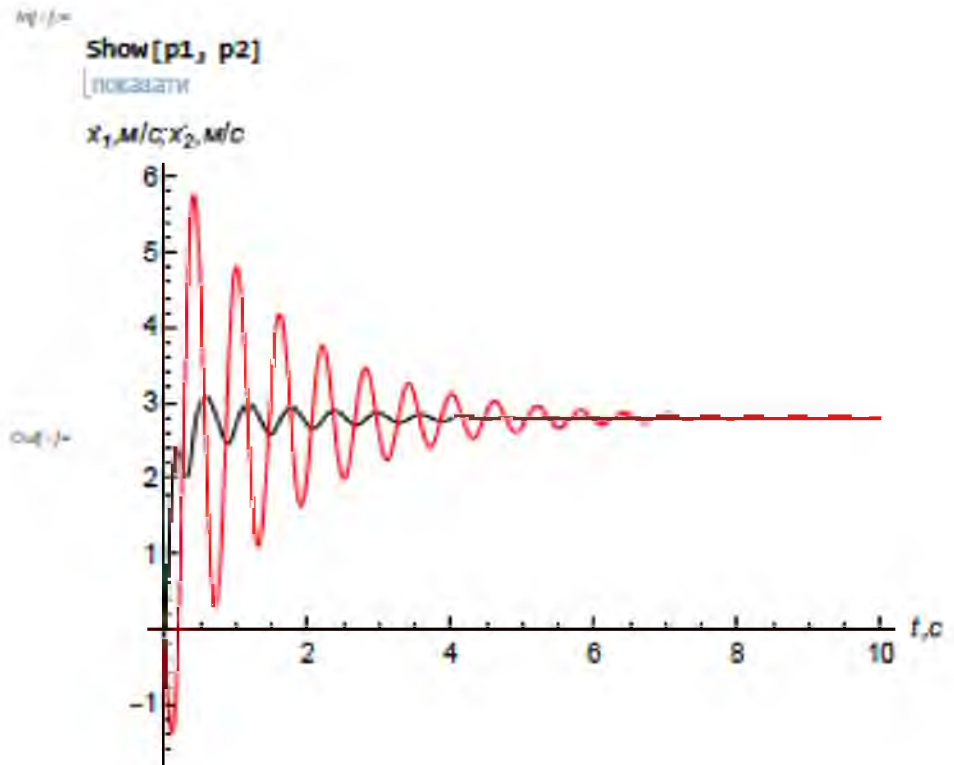
2.4. Результати динамічного аналізу режиму руху електротрактора

В результаті проведених розрахунків визначені кінематичні, силові та енергетичні характеристики руху електротрактора, які наведені на рис. 2.4 – 2.9

НУ

НУ

НУ



НУБІП України

Рис.2.4. Графіки швидкостей першої та другої зведених мас динамічної моделі електротрактора

НУБІП України

На рис.2.4 чорною лінією позначено швидкість першої маси динамічної моделі, а червоною – другої маси.

НУБІП України

НУБІП України

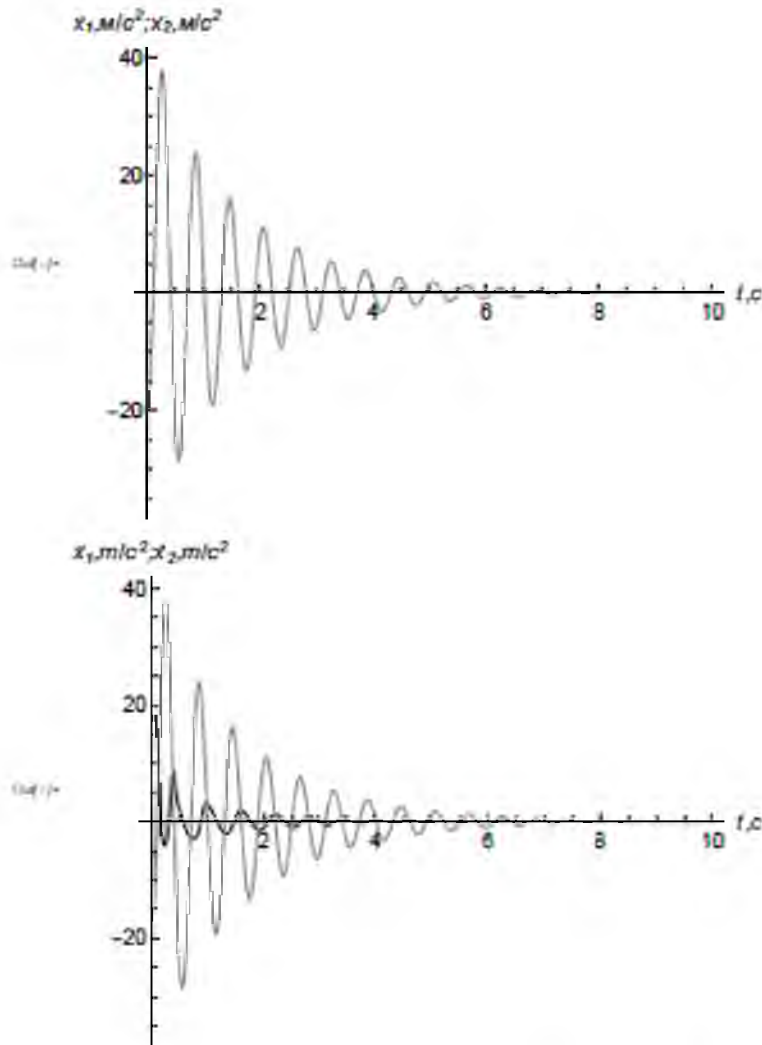
НУ

НУ

НУ

НУ

НУ



НУ ШИ П У КРАЙНІ

Рис.2.5. Графіки прискорень першої та другої зведених мас динамічної

моделі електротрактора

НУБІП України

На рис.2.5 темною лінією показано зміну прискорення першої маси динамічної моделі, а світлою – другої маси.

НУБІП України

НУ

5 | *Untitled-1.nb*

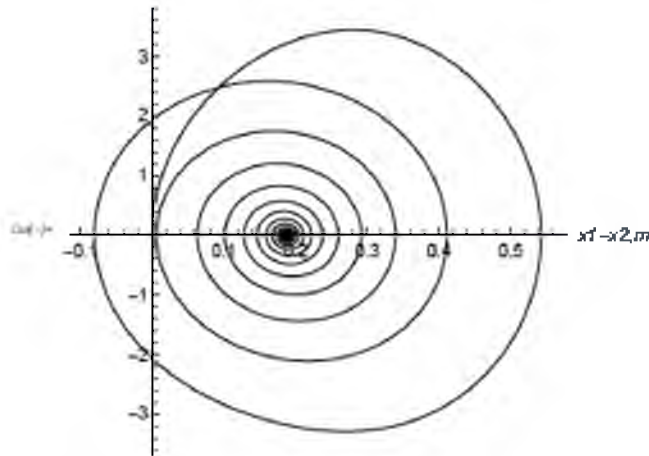
```

In[ ]:= ParametricPlot[Evaluate[{x1[t] - x2[t], x1'[t] - x2'[t]} /. Sol1], {t, 0, T},
|график параметри| |обчислити|
PlotStyle -> {Black, Thickness[0.003]}, ImageSize -> 400, AxesStyle -> FontSize -> 12,
|стиль графіка| |чорний| |товщина| |розмір зображення| |стиль осей| |розмір шрифту|
AxesLabel -> {Text[Style["x1-x2,m", FontSize -> 13, Italic]]},
|позначення на| |текст| |стиль| |розмір шрифту| |курсор|
AxesOrigin -> {0, 0}, PlotRange -> All, AspectRatio -> 0.9]
|точка перетину осей| |діапазон знач| |всі| |аспектне відношення|

```

НУ

НУ

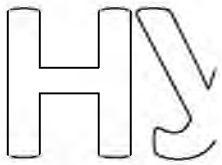


НУБІП України
Рис.2.6. Фазовий портрет коливань зведених мас динамічної моделі електротрактора

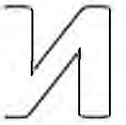
НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України



unattar-L.nb | 7



```

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

```

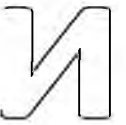
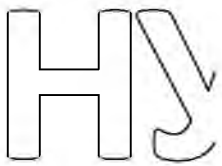
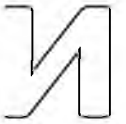
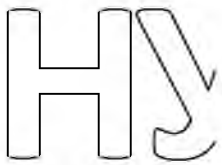
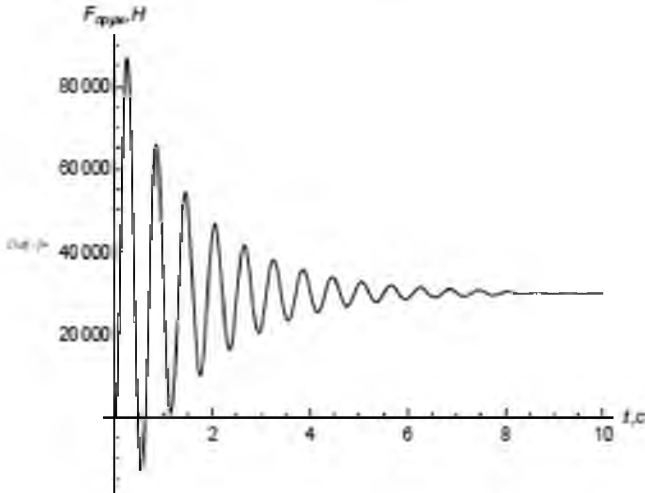
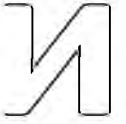
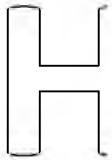


Рис.2.7. Зусилля в пружному елементі, що з'єднує приведені маси динамічної моделі

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України



Untitled-1.nb

```

In[ ]:= Plot[Evaluate[F1 /. Soll], {t, 0, T},
| граф. | обчислити
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]], Text[Style["F_прив, Н",
| позначення осей | текст | стиль | розмір шрифту | курсор | текст | стиль
FontSize -> 13, Italic]]}, AxesOrigin -> {0, 0}, PlotRange -> All, AspectRatio -> 0.9]
| розмір шрифту | курсор | точка перетину осей | діапазон знач. | все | аспектноє відношення

```

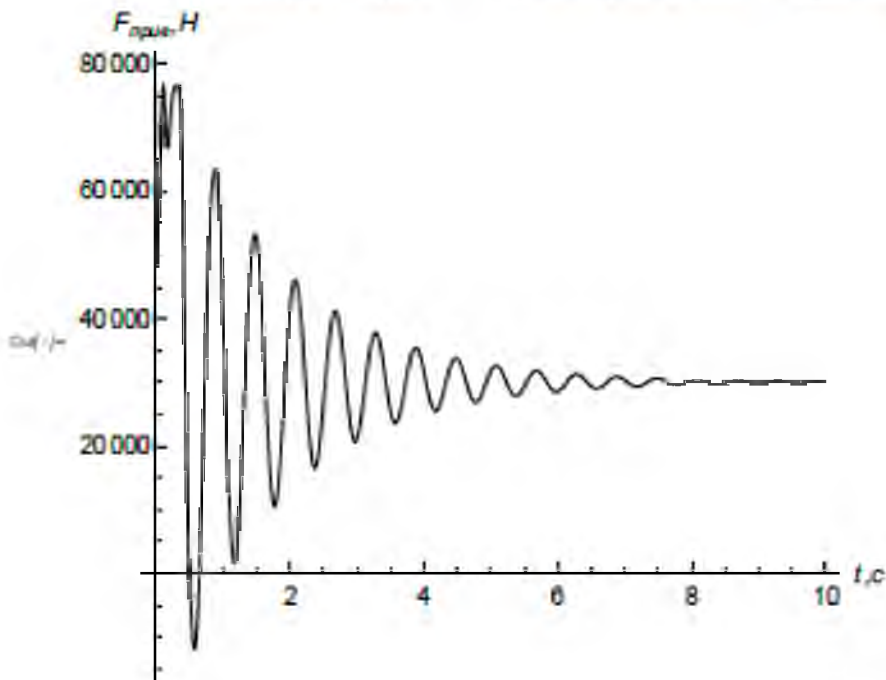
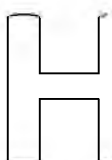
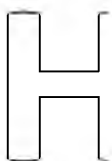
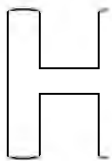
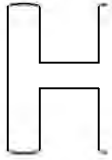


Рис.2.8. Рухійне зусилля першої приведенної маси динамічної моделі

НУБІП України

НУБІП України

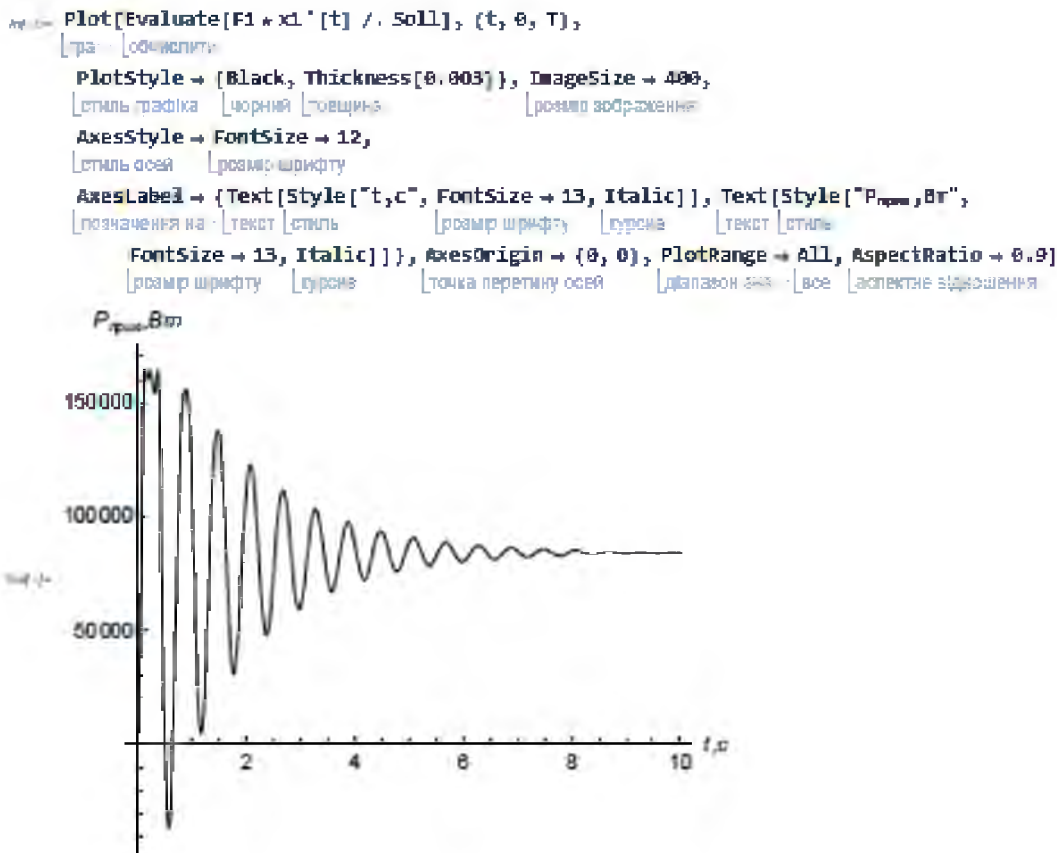


Рис. 2.9. Потужність приводного механізму електротрактора

З наведених графічних залежностей можна зробити висновок, що усі розглянуті характеристики змінюються з високочастотними коливаннями, які з часом затухають (рис.2.6). Одак на ділянці пуску ці коливання дають значні перевантаження. Так, максимальне значення швидкості руху другої зведеної маси майже вдвічі перевищує усталене значення швидкості руху електротрактора (рис.2.4). Крім того, максимальне значення прискорення другої маси вдвічі перевищує максимальне прискорення першої маси (рис.2.5). Максимальне значення моменту в пружному елементі в 2,7 разів перевищує усталене значення (рис.2.7). Максимальне значення потужності приводу в 2,1 рази перевищує його усталене значення.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 3. ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ РУХУ ЕЛЕКТРОТРАКТОРА

3.1. Вибір критерію оптимізації режиму руху

Важливою характеристикою трактора є забезпечення необхідного тягового зусилля при використанні трактора як транспортного засобу при перевезенні вантажів або в складі орного агрегату при виконанні технологічних операцій оранки ґрунту. Більше того, при використанні трактора в інтенсивному режимі в його елементах та приводному механізмі виникають значні динамічні навантаження, які мають суттєвий вплив на його продуктивність, надійність та енергетичні витрати. Тягове зусилля трактора та величина динамічних навантажень в значній мірі залежать від величини та характеру зміни рушійного моменту приводного електродвигуна трактора. В зв'язку з цим виникає потреба в керуванні рушійним зусиллям приводного механізму електротрактора. Найбільшу ефективність від такого керування можна отримати, якщо використовувати методи оптимального керування рухом електротрактора.

Найбільш доцільним є розв'язання задачі оптимального керування рухом електротрактора, якщо обрати в якості параметра керування рушійне зусилля приводного механізму. Рушійне зусилля обмежується, однак воно має більш природний характер, в порівнянні з обмеженням прискорення електротрактора. Це прискорення визначається потужністю приводного електродвигуна, умовами зчеплення ходових коліс трактора з ґрунтом або дорожнім покриттям та вимогами міцності. Це означає, що швидкість та прискорення електротрактора змінюватимуться залежно від рушійного зусилля та взаємодії приводних коліс з ґрунтовим чи дорожнім середовищем. Це призведе до ускладнення розв'язання задачі керування, проте режим руху, який буде отримано, можна вважати оптимальним з точки зору швидкодії, тобто підвищення продуктивності електротрактора при виконанні технологічних чи транспортних операцій. Звідси можна зробити висновок, що основу критерію оптимального керування рухом електротрактора повинно складати рушійне зусилля приводного механізму. Причому це зусилля повинно відображати рух електротрактора протягом всієї

ділянки руху і представляються в квадратичному вигляді, щоб не було можливості компенсації додатних значень зусиль їхніми від'ємними значеннями.

Тому за критерій оптимізації режиму руху електротрактора доцільно обрати середньоквадратичне значення рушійного зусилля приводного механізму за час перехідного процесу руху (пуск, гальмування, зміна швидкості руху, аварійна зупинка), яке визначається такою залежністю

$$F_{\text{пуск}} = \left[\frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} F_{\text{п1}}^2 dt \right]^{\frac{1}{2}} \rightarrow \min, \quad (3.1)$$

де t - час; t_1 - тривалість перехідного процесу руху електротрактора.

Для розв'язання задачі оптимального керування рухом електротрактора використаємо двомасову динамічну модель у вигляді, який розглянуто в третьому розділі магістерської роботи. Така динамічна модель описується системою диференціальних рівнянь (2.17).

З другого рівняння системи (2.17) виразимо координату першої маси динамічної моделі через координату другої маси, в результаті чого будемо мати:

$$x_1 = x + \frac{ml}{mg} x^{\text{II}};$$

$$x_1 = x + \frac{l}{g} x^{\text{II}} \quad (3.2)$$

Взявши похідні за часом від виразу (4.2), знайдемо швидкість та прискорення першої маси динамічної моделі, які визначаються наступними виразами:

$$x_1^{\text{I}} = x^{\text{I}} + \frac{l}{g} x^{\text{III}}; \quad (3.3)$$

$$x_1^{\text{II}} = x^{\text{II}} + \frac{l}{g} x^{\text{IV}}. \quad (3.4)$$

В результаті підстановки виразів (3.2)...(3.4) в перше рівняння системи (2.17) отримаємо таке диференціальне рівняння

$$m_{\text{п1}} \left(x^{\text{II}} + \frac{l}{g} x^{\text{IV}} \right) = F_{\text{п1}} - m x^{\text{II}} - F_{\text{п2}}. \quad (3.5)$$

З рівняння (3.5) визначимо рушійне зусилля приводного механізму переміщення електротрактора, яке визначається наступною залежністю

$$F_{п1} = (m_{п1} + m)x'' + m_{п1} \frac{l}{g} x^{IV} + F_{п2}. \quad (3.6)$$

Тепер можна сформулювати підінтегральний вираз для критерію (3.1), який виражається таким співвідношенням

$$f = F_{п1}^2 = \left[(m_{п1} + m)x'' + m_{п1} \frac{l}{g} x^{IV} + F_{п2} \right]^2. \quad (3.7)$$

В результаті проведених математичних перетворень побудовано інтегральний динамічний критерій, який дозволяє визначити оптимальний режим руху електротрактора під час проходження перехідного процесу. Так як отриманий динамічний критерій відображає небажані властивості (дію рушійного зусилля) електротрактора, тому його необхідно мінімізувати.

3.2. Оптимізація режиму руху електротрактора

Умовою мінімуму інтегрального функціоналу, яким є критерій (3.1) з урахуванням виразу (3.7), є рівняння Ейлера-Пуассона, які представляються таким співвідношенням

$$\frac{\delta f}{\delta x} - \frac{d}{dt} \frac{\delta f}{\delta x'} + \frac{d^2}{dt^2} \frac{\delta f}{\delta x''} - \frac{d^3}{dt^3} \frac{\delta f}{\delta x'''} + \frac{d^4}{dt^4} \frac{\delta f}{\delta x^{IV}} = 0; \quad (3.8)$$

Провівши необхідні для рівняння (3.8) операції диференціювання над виразом (3.7), отримаємо наступні залежності:

$$\frac{\delta f}{\delta x} = 0; \quad \frac{\delta f}{\delta x'} = 0; \quad \frac{\delta f}{\delta x''} = 0;$$

Тоді

$$\frac{\delta f}{\delta x''} = 2 \left[(m_{п1} + m)x'' + m_{п1} \frac{l}{g} x^{IV} + F_{п2} \right] (m_{п1} + m);$$

$$\frac{\delta f}{\delta x^{IV}} = 2 \left[(m_{п1} + m)x'' + m_{п1} \frac{l}{g} x^{IV} + F_{п2} \right] m_{п1} \frac{l}{g};$$

$$\frac{d^2}{dt^2} \frac{\delta f}{\delta x^{II}} = 2 \left[(m_{п1} + m) x^{IV} + m_{п1} \frac{l}{g} x^{IV} + 0 \right] (m_{п1} + m);$$

$$\frac{d^4}{dt^4} \frac{\delta f}{\delta x^{IV}} = 2 \left[(m_{п1} + m) x^{IV} + m_{п1} \frac{l}{g} x^{VIII} + 0 \right] m_{п1} \frac{l}{g}.$$

Підставивши знайдені залежності у рівняння Ейлера-Пуассона (4.8),

знайдемо диференціальне рівняння восьмого порядку, яке має такий вигляд:

$$(m_{п1} + m)^2 x^{IV} + 2(m_{п1} + m) \left(m_{п1} \frac{l}{g} x^{IV} \right) + \left(m_{п1} \frac{l}{g} \right)^2 x^{VIII} = 0. \quad (3.9)$$

Після того як всі члени в диференціальному рівнянні (3.9) розділили на коефіцієнт біля найстаршої похідної, отримали наступне рівняння

$$x^{VIII} + 2 \frac{(m_{п1} + m)}{\left(m_{п1} \frac{l}{g} \right)} x^{VI} + \frac{(m_{п1} + m)^2}{\left(m_{п1} \frac{l}{g} \right)^2} x^{IV} = 0. \quad (3.10)$$

В рівнянні (3.10) зробимо таку заміну

$$k = \sqrt{\frac{m_{п1} + m}{m_{п1} l}} g, \quad (3.11)$$

після чого отримаємо лінійне однорідне диференціальне рівняння восьмого порядку з постійними коефіцієнтами, яке розв'язується аналітично

$$x^{VIII} + 2k^2 x^{VI} + k^4 x^{IV} = 0, \quad (3.12)$$

де k – частота власних коливань елементів двомасової моделі електротрактора.

Для розв'язування диференціального рівняння (3.12) запишемо характеристичне рівняння і знайдемо його корені:

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

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

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

$$r^4 + 2k^2 r^2 + k^4 = 0.$$

Зробимо заміну $r^2 = p$, в результаті чого отримаємо квадратне рівняння

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

розв'язок якого дає такі корені:

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

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

Знайдені кореням характеристичного рівняння відповідає розв'язок диференціального рівняння (4.12), який має наступний вигляд

$$x = c_1 + c_2 t + c_3 t^2 + c_4 t^3 + (c_5 + c_6 t) \sin kt + (c_7 + c_8 t) \cos kt, \quad (3.13)$$

де c_1, c_2, \dots, c_8 постійні інтегрування, які знаходяться з наступних крайових

$$\left. \begin{array}{l} \text{умов:} \\ t = 0: x = 0, x^I = 0, x^{II} = 0, x^{III} = 0; \\ t = t_1: x^I = v, x^{II} = v, x^{III} = 0, x^{IV} = 0 \end{array} \right\} \quad (3.14)$$

Виразимо крайові умови (4.14) через координату другої зведеної маси

динамічної моделі та її похідні за часом, в результаті чого будемо мати:

$$\left. \begin{array}{l} t = 0: x = 0, x^I = 0, x^{II} = 0, x^{III} = 0; \\ t = t_1: x^I = v, x^{II} = v, x^{III} = 0, x^{IV} = 0 \end{array} \right\} \quad (3.15)$$

Взявши похідні за часом від виразу (4.13), отримаємо такі залежності

швидкості, прискорення та більш високих похідних за часом другої зведеної

маси динамічної моделі:

$$x^I = 0 + c_2 + 2c_3 t + 3c_4 t^2 + c_6 \sin kt + (c_5 + c_6 t) k \cos kt + c_8 \cos kt - (c_7 + c_8 t) k \sin kt;$$

$$x^I = c_2 + 2c_3 t + 3c_4 t^2 + (c_6 - c_7 k - c_8 kt) \sin kt + (c_8 + c_5 k + c_6 kt) \cos kt;$$

$$x^{II} = 0 + 2c_3 + 2 \cdot 3c_4 t^{(2-1)} - c_8 k \sin kt + (c_6 - c_7 k - c_8 kt) k \cos kt + c_6 k \cos kt - (c_8 + c_5 k + c_6 kt) k \sin kt;$$

$$x^{II} = 2c_3 + 6c_4 t - (2c_8 + c_5 k + c_6 kt) k \sin kt + (2c_6 - c_7 k - c_8 kt) k \cos kt;$$

$$x^{III} = 0 + 6c_4 - c_6 k^2 \sin kt - (2c_8 + c_5 k + c_6 kt) k^2 \cos kt - c_8 k^2 \cos kt - (2c_6 - c_7 k -$$

$$c_8 kt) k^2 \sin kt;$$

$$x^{III} = 6c_4 - (3c_6 - c_7 k - c_8 kt) k^2 \sin kt - (3c_8 + c_5 k + c_6 kt) k^2 \cos kt;$$

$$x^{IV} = 0 + c_8 k^3 \sin kt - (3c_6 - c_7 k - c_8 kt) k^3 \cos kt - c_6 k^3 \cos kt + (3c_8 + c_5 k +$$

$$c_6 kt) k^3 \sin kt;$$

$$= (4c_8 + c_5 k + c_6 kt) k^3 \sin kt - (4c_6 - c_7 k - c_8 kt) k^3 \cos kt. \quad (3.16)$$

Після підстановки залежностей (3.16) кінематичних характеристик в крайові умови (3.13), отримаємо систему лінійних рівнянь для визначення постійних інтегрування

при $t=0$ отримаємо такі рівняння:

$$0=c_1+c_7;$$

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

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

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

при $t=t_1$:

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

$$c_6kt_1)\cos kt_1;$$

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

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

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

(3.17)

Після розв'язку системи рівнянь (3.17) визначимо постійні інтегрування і підставимо їх в залежності (3.16). Це дасть можливість визначити кінематичні

характеристики другої зведеної маси динамічної моделі електротрактора. Після

чого за допомогою залежностей (3.2) – (3.4) будуть визначені кінематичні

характеристики першої маси динамічної моделі електротрактора. В результаті

проведених розрахунків у програмному середовищі Wolfram Mathematica

побудовані графічні залежності кінематичних характеристик динамічної моделі

електротрактора. За допомогою кінематичних характеристик визначаються

також силові та енергетичні характеристики динамічної моделі.

НУБІП України

3.3. Результати оптимізації режиму електротрактора

НУБІП України

В результаті проведених розрахунків побудовані графічні залежності кінематичних (рис.3.1- 3.2), силових (рис.3.3) та енергетичних (рис.3.4) характеристик електротрактора при оптимальному режимі пуску.

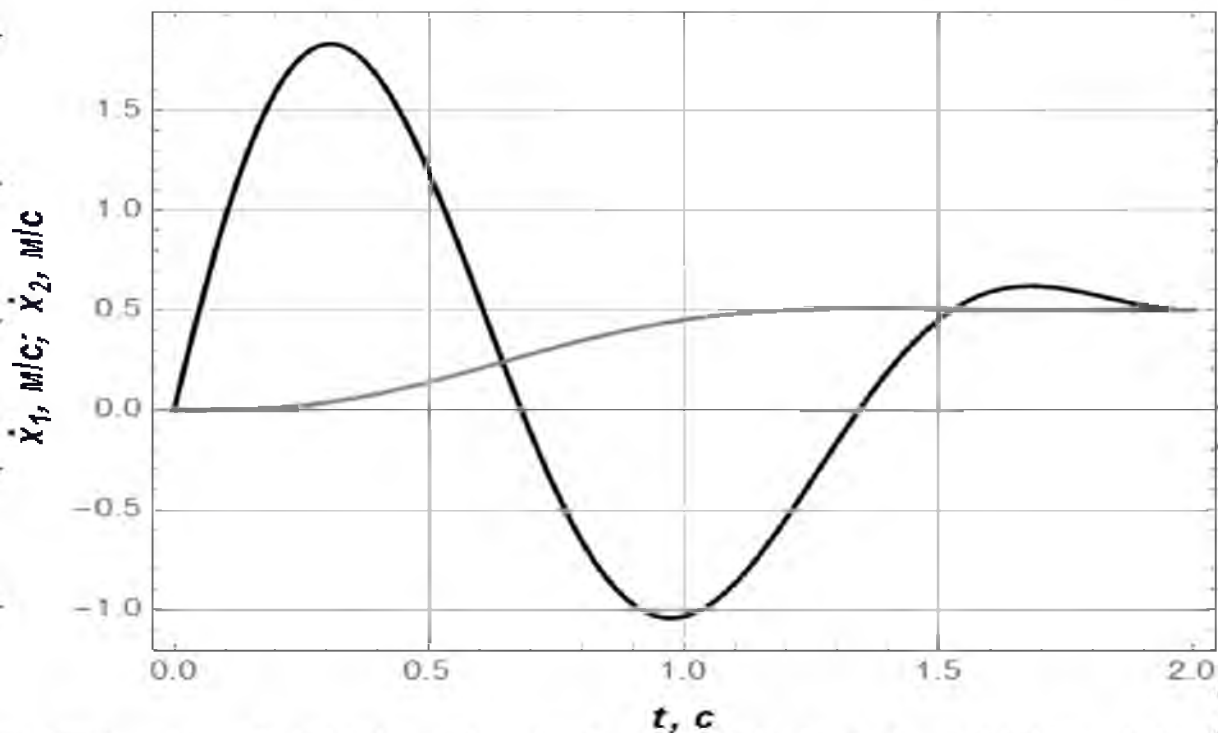


Рис.3.1. Графіки швидкостей першої та другої зведених мас динамічної моделі

Оптимальний режим зміни швидкостей першої та другої мас динамічної моделі (рис. 3.1) показує, що швидкість привідного механізму змінюється плавно, а швидкість самого трактора має значну амплітудою коливань, які затухають до закінчення процесу пуску.

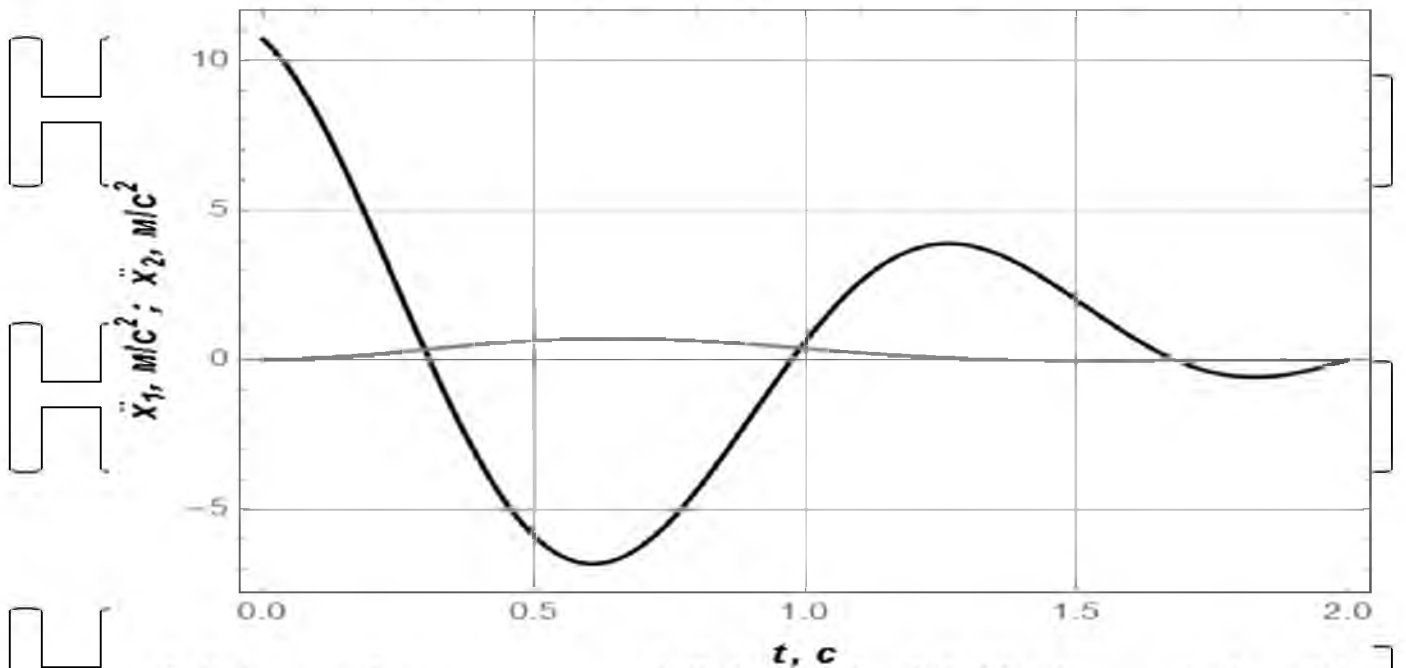


Рис. 3.2. Графіки прискорень першої та другої мас динамічної моделі

З рис. 3.2 видно, що прискорення приводного механізму змінюється плавно і має досить мале максимальне значення, прискорення трактора має значну величину максимального значення при наявності коливань, які затухають до кінця процесу пуску.

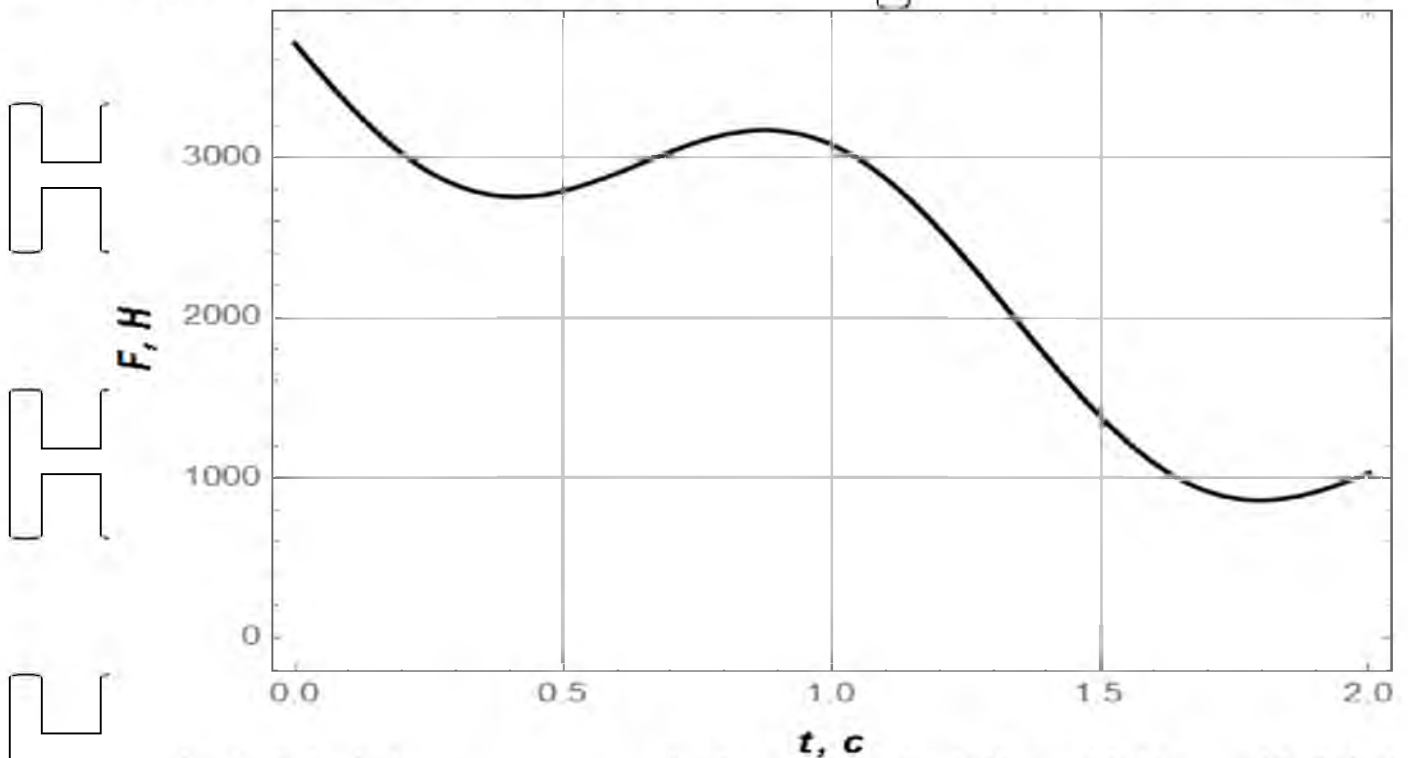


Рис.4.3. Графік зміни рушійного зусилля приводу

З рис. 3.3 можна бачити, що залежність рушійного зусилля приводу механізму переміщення електротрактора при оптимальному режимі пуску досягає максимального значення на початку руху, яке складає 3,8 кН і до кінця пуску зменшується до 1,0 кН. При цьому мають місце низькочастотні коливання.

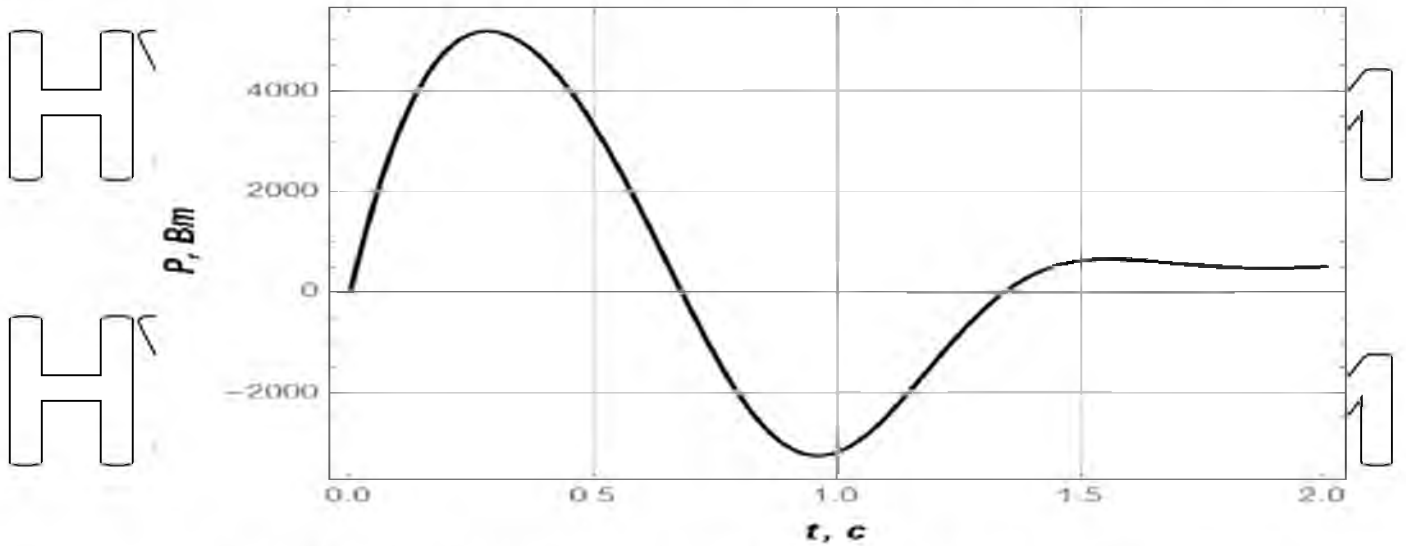


Рис. 3.4. Графік зміни потужності приводного механізму електротрактора

На рис. 3.4 наведено залежність потужності приводного електродвигуна механізму переміщення електротрактора при оптимальному режимі пуску, з якого видно, що потужність зростає від нульового значення до максимального, а потім спадає до усталеного значення. При цьому спостерігається коливання потужності приводу на ділянці пуску.

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.

В цьому розділі буде порівняємо витрати коштів на паливо для тракторів ДВЗ та витрату коштів за енергію для заряду електротракторів.

4.1. Особливості обчислення витрати палива трактора ДВЗ.

Для визначення середнього показника машина має подолати 100 км., після чого встановлюється ступінь витрати. При цьому машина та всі його комплектуючі повинні працювати нормально. Варто зазначити, що витрати пального у тракторів вимірюються за годину в літрах.

Прийmemo за трактор з ДВЗ модель марки: John Deere моделі: 8295R

У формулі для розрахунку використовуються такі транспортні значення як:

R - питома витрата палива; **0.037** (дані трактора John Deere)

N - потужність у кінських силах; **70** (дані трактора John Deere)

P – розрахунок палива за 1 годину.

До цього всього ще застосовується коефіцієнт переведення з кВт, який дорівнює 0,7.

Кінцева формула:

$$P = 0,7 * R * N.$$

$$P = 0,7 * 0,037 * 70 = 1,7 \text{ л/год}$$

При розрахунку потрібно зазначити, що різниця у комплектаціях техніки дає різні показники, і при цьому в робочих умовах навантаження не завжди повне, що може сильно вплинути на результат.

Отже прийmemo середню кількість робочих годин у обох тракторах – 6 год

З попередніх результатів розрахуємо денну кількість витрати палива за

формулою:

$$De: 6(\text{год}) * 11(\text{л/год}) = 66 \text{ л/день}$$

Приймаючи 20 робочих днів на місяць розрахуємо місячну витрату палива $20(\text{днів}) * 66 = \sim \text{ л/місяць}$

Згідно з офіційними даними МІНФІНу станом на квітень 2022 року у середньому ціни на дизельне паливо за 1 літр – 40 гривень.

Витрата грошей на дизельне за день – 2640 грн.

Витрата грошей на дизельне за місяць – $\sim 52\,800$ грн.

4.2. Особливості обчислення витрати палива електротрактора

З вихідних даних оглядового проекту трактора прийемо дані:

Потужність трактора: **50 кВт (68 к.с.)**

Акумулятор ємністю: **100 кВт/год;**

Не враховуючи перезарядку, приймаючи 6 робочих годин на день, трактор споживає

120 кВт за день.

Розрахуємо місячну витрату електроенергії, приймаючи 20 робочих днів на місяць:

$$120 \text{ кВт} * 20 = 2400 \text{ кВт}$$

Згідно з офіційними даними МІНФІНу станом на жовтень 2021 року у середньому ціни на електроенергію за 1 кВт: – 1,68 грн

Витрата грошей на електроенергію за один день - ~ 202 грн.

Витрата грошей на електроенергію за один місяць - ~ 4032 грн.

Порівняємо витрати на роботу у таблиці

Витрата	Грн на день	Грн на місяць
Електротрактор	202	4032
Трактор ДВЗ	2640	52 800

НУБІП України

Можемо наглядно зробити висновок що при сприятливих умовах та правильній, справній конструкції, електротрактор буде в рази дешевшим у використанні на господарстві в межах витрати енергії.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Підготовка машинно-тракторного агрегату

Нові машини до введення в експлуатацію, а також після ремонту або тривалої стоянки, піддавати обкатці під керівництвом бригадира або механіка з дотриманням технічних умов та безпечних прийомів робіт. Забороняється вводити в експлуатацію машини, що не пройшли обкатки.

При надходженні в господарство нових або відремонтованих машин і агрегатів адміністрація господарства зобов'язана перевірити їх комплектність за специфікаціями на технічну справність та укомплектованість. Машини, агрегати, що не забезпечують безпечну роботу (відсутність огорож у обертових та передавальних механізмів, необладнане, відповідно до заводських вимог, робоче місце, несправне рульове керування, невідрегульовані гальмівні пристрої, відсутність звукового сигналу, аптечки та ін.), до експлуатації не допускаються.

Справною вважається машина, повністю укомплектована відрегульованими агрегатами, механізмами, вузлами, приладами, захисними огорожами та сигналізацією.

Перевірка технічного стану машин має проводитися відповідно до цих правил та правилами технічних оглядів, випробуванням у дії окремих механізмів. Колісні трактори повинні бути встановлені на максимальну ширину колії, якщо вона не обумовлена технологією виконуваної роботи.

Причіпка до трактора та навішування сільськогосподарських машин та знарядь на трактор або самохідне шасі повинні здійснюватися особами, які обслуговують цю машину, із застосуванням інструменту та підйомних пристроїв, що гарантують

безпечне виконання цих операцій.

Комплектування та налагодження машинно-тракторного агрегату та стаціонарних машин здійснюється трактористом-машиністом під керівництвом та за участю одного з таких осіб: бригадира, механіка відділення, агронома із

залученням у необхідних випадках допоміжних робітників.

Зміна трактористом-машиністом конфігурацію деталей без дозволу відповідних фахівців не допускається.

Агрегування сільськогосподарських машин і обладнання допускається тільки з тими тракторами та самохідними шасі, які рекомендовані заводом-виготовлювачем.

Зміна оливи та мастильних матеріалів повинна проводитись тільки механізованим способом з дотриманням правил пожежної безпеки.

Виконання сільськогосподарських робіт і пересування машин та агрегатів повинно проводитись у відповідно до заздалегідь розробленої технології та маршрутом, затвердженим керівником або відповідним головним спеціалістом господарства, підприємства.

Машинно-тракторний агрегат, що працює, самохідна або стаціонарна машина повинні бути негайно зупинені при появі будь-якої несправності.

Забороняється працювати на несправних машинах.

5.2. Техніка безпеки при експлуатації електротрактора

Технічний стан тракторів, шасі, комбайнів, сільськогосподарських та спеціалізованих машин мають відповідати вимогам та заводським інструкціям.

Перед початком експлуатації електромашини, механік повинен перевірити основні вузли на ізоляцію електродротів та справність електроніки для запобігання короткого замикання в системі.

Без застосування електрозахисних засобів забороняється торкатися ізоляторів електроустановки, що перебуває під напругою.

При проведенні робіт в системі електроніки, застосовувати інструмент із ізолюючими рукоятками (у викруток, крім того, має бути ізольований стрижень); за відсутності такого інструменту користуватися діелектричними рукавичками.

Акумуляторні батареї повинні бути в місцях, передбачених конструкцією, надійно укріплені, закриті кришкою та не мати течі електроліту.

При проведенні ремонтних робіт механічної частини електромашини, повинні зняти напругу з системи.

Технічний стан кермового управління тракторів, самохідних шасі, а також важелів управління робочими органами сільськогосподарських машин і знарядь має забезпечувати легкість, надійність та безпеку управління.

Машини мають бути укомплектовані набором справного інструменту та пристроїв відповідно до заводської інструкції.

Всі машини (електромашини), зв'язані зі збиранням зернових культур, бавовни, трав та інших легкозаймистих культур та соломи, повинні бути обладнані справними іскрогасниками та первинними засобами пожежогасіння.

Усі трактори, сільськогосподарські електромашини, виробничі приміщення та стоянки машин повинні бути обладнані протипожежним інструментом.

Рухомі, частини електромашини (карданні, ланцюгові, ремінні, зубчасті передачі тощо) повинні бути огорожені захисними бар'єрами, кожухами, що забезпечують безпеку обслуговуючого персоналу.

Трактори та самохідні машини повинні мати справний сигнальний пристрій, а трактори, що працюють в агрегаті з причіпними машинами, на яких є обслуговуючий персонал, повинні мати двосторонню сигналізацію.

Покришки не повинні мати наскрізних тріщин і розривів, повного зносу малюнка протектора. Тиск повітря в шинах повинен відповідати величинам, встановленим у заводській інструкції.

Причіпний пристрій та система гідро-управління повинні бути справними.

Отвори в причіпному кільці трактора та причіпному пристрої сільськогосподарських машин не повинні бути овальними.

Причіпний стовбець повинен надійно фіксуватися, а його міцність повинна відповідати тяговому навантаженню, що розвивається.

З'єднання шлангів гідросистеми мають бути надійними та не допускати підтікання оливи. Трактори та самохідні машини повинні бути забезпечені медичними аптечками.

5.3. Вимоги щодо пожежної безпеки

Приміщення для зберігання тракторів повинно бути забезпечені всіма необхідними засобами для гасіння пожежі, передбаченими правилами протипожежної безпеки.

В усіх приміщеннях в яких перезаряджаються чи зберігаються трактори має бути встановлене заземлення.

Місця стоянки машин повинні бути охоплені смугою шириною не менше 3 м і забезпечені засобами пожежогасіння відповідно до вказівок пожежної інспекції.

Куріння у цих місцях забороняється. Для куріння відводяться спеціальні місця.

Перезарядка тракторів повинна бути під постійним наглядом відповідальної особи, до повного або певного запланованого рівня заряду акумуляторів електромашини.

При необхідності проведення ремонту машин у польових умовах із застосуванням електрогазозварювання вузли та агрегати повинні бути попередньо очищені та промиті водою від рослинних залишків.

Заземленню підлягають: електродвигуни, переносні електроприлади, металеві каркаси розподільні щити, силових шафи, корпуси пускових приладів, металева освітлювальна та опромінювальна апаратура, металева оболонка кабелів та проводів.

Важелі керування причіпною (навісною) машиною повинні мати справні надійно діючі фіксатори. Управління причіпним плугом має здійснюватися з кабіни трактора.

Обслуговуючий персонал повинен бути забезпечений необхідними засобами для очищення робочих органів. Не допускається очищення робочих

органів на рухомий агрегат.

Для встановлення машин та проведення робіт з підробітку продуктів сільськогосподарського виробництва необхідно віднести спеціально обладнані

приміщення чи майданчики. Розміри приміщення мають задовольняти вимоги

безпечного обслуговування машин та обладнані достатнім освітленням та вентиляцією, а також відповідати вимогам електричної та з пожежної безпеки.

При виборі робочого майданчика необхідно врахувати можливість швидкої евакуації машин у разі пожежі, а також зручний під'їзд для

транспортних коштів. У нічний час майданчик повинен бути освітлений.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВИСНОВОК

Для сучасного машинобудування важливе підвищення енергоефективності машин, яка пропорційно корелюється зі збільшенням швидкості та скороченням тривалості перехідних процесів, а також зростанням робочих навантажень, точності виконання робочих операцій, надійності роботи та економічності. Тому висуваються підвищені вимоги до методів розрахунку окремих елементів і систем, що використовуються при конструюванні та проектуванні машин. У висновок до конструкцій електротрактора можна відзначити, такий вид трактора має дуже великий потенціал майбутньому, тому що світ змінив свій напрямок у бік зеленої енергетики, зменшення видобутку нафти та газифікації інфраструктури, Отже електротрактор вписується у світовий концепт.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гермейер Ю.Б. Математическая теория исследования операций.— М.: Наука, 1971.
2. Бергаланди фон Л. Общая теория систем: Критич. обзор // Исследования по общей теории систем.— М., 1969.— С. 5-29.
3. Богданов А.А. Теория организации или тектология.— М., 1913.
4. Калман Р., Фалб П., Арбиб М. Очерки по математической теории систем.— М.: Мир, 1971.
5. Философский энциклопедический словарь.— М.: Советская энциклопедия, 1983.
6. Михалевич В.С., Волкович В.Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем.— М.: Наука, 1982.— 286 с.
7. Бусленко Н.П., Каташников В.В., Коваленко И.Н. Лекции по теории сложных систем.— М.: Сов. радио, 1973.
8. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем.— М.: Наука, 1978.
9. Беккер М.Г. Введение в теорию систем "местность-машина".— М.: Машиностроение, 1983.— 311 с.
10. Глушков В.М., Иванов В.В., Яценко В.М. Моделирование развивающихся систем.— М.: Наука, 1983.— 337 с.
11. Сівко В.Й. Механічне устаткування підприємств будівельних виробів.— К.: ІСДО, 1994.— 359 с.
12. Яковлев А.С. Советские самолеты.— М.: Наука, 1975.
13. Венников В.А. Теория подобия и моделирования.— М.: Высш. шк., 1976.— 479 с.
14. Брумберг В.А. Аналитические алгоритмы небесной механики.— М.: Наука, 1980.— 205 с.
15. Соболев И.М. Метод Монте-Карло.— М.: Наука, 1966.— 87 с.
16. Ловейкин В.С. Расчеты оптимальных режимов движения механизмов строительных машин.— К.: УМК ВО, 1990.— 168 с.

17. Горский Б.Е., Ловейкин В.С. Методика составления операторов передачи движения // Горные, строительные и дорожные машины. — К.: Техника, 1979. — Вып. 28. — С. 99 - 105.

18. Самарский А.А. Введение в численные методы: Учебн. пособие для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука, 1987. — 288 с.

19. Растригин Л.А., Малжаров Н.Е. Введение в идентификацию объектов управления. — М.: Энергия, 1977. — 215 с.

20. Барабанчук В.И. и др. Планирование эксперимента в технике. — К.: Техника, 1984. — 200 с.

21. Корн Г. Исследование сложных систем по частям (диоптика). — М.: Наука, 1972. — 544 с.

22. Назаренко И.И. Прикладные задачи теории вибрационных систем. — К.: ИСНО. — 216 с.

23. Чубук Ю.Ф., Назаренко И.И., Гарнец В.Н. Вибрационные машины для уплотнения бетонных смесей. — К.: Вища шк., 1985. — 168 с.

24. Розанов Ю.А. Случайные процессы. — М.: Наука, 1979. — 183 с.

25. Молчанов А.А. Моделирование и проектирование сложных систем. — К.: Вища шк., 1988. — 317 с.

26. Ризкин И.Х. Машинный анализ и проектирование технических систем. — М.: Наука, 1985. — 160 с.

27. Одрин В.М., Картавов С.С. Морфологический анализ систем. — К.: Наукова думка, 1977. — 148 с.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України
ДОДАТКИ

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України