

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко – технологічний факультет

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

**Завідувач кафедри
Тракторів і автомобілів**
(назва кафедри)

_____ Калінін Є.І.
(підпис) (ПІБ)

“ ___ ” _____ 2025 р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ БАКАЛАВРА

**на тему «Підвищення ефективності використання мобільних енергетичних засобів і
сільськогосподарських агрегатів на польових та транспортних роботах»**

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Гарант освітньої програми

К.т.н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Сівак І.М.
(ПІБ)

Керівник дипломного проєкту бакалавра

К.т.н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Колеснік І.В.
(ПІБ)

Виконав

_____ (підпис)

Олексієнко Дмитро Олександрович
(ПІБ студента)

КИЇВ – 2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко – технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Тракторів і автомобілів

д.т.н., професор

(науковий ступінь, вчене ваня) (підпис)

Калінін Є.І.

(ПІБ)

“ ” 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

на виконання дипломного проєкту бакалавра студенту

Олексієнко Дмитро Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Тема дипломного проєкту бакалавра на тему «Підвищення ефективності використання мобільних енергетичних засобів і сільськогосподарських агрегатів на польових та транспортних роботах»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «26» листопада 2024 р. №2098 «С»

Термін подання завершеної роботи (проєкту) на кафедру 19.05.2025

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до дипломного проєкту бакалавра Нормативно довідкова література.

Характеристики тракторів.

Перелік питань які потрібно розробити

Вступ

1 Стан питання. Мета та завдання досліджень

1.1 Аналіз шляхів підвищення ефективності використання колісних МЕЗ на транспортно-технологічних та польових сільськогосподарських роботах

1.2 Аналіз способів підвищення тягово-зчіпних властивостей МЕЗ

1.3 Висновки за розділом 1

2 Теоретичне обґрунтування підвищення ефективності використання МЕЗ

2.1 Обґрунтування економіко-математичної моделі функціонування МЕЗ у технології вирощування сільськогосподарських культур 13

2.2 Підвищення зчіпної ваги МЕЗ за рахунок постановки додаткового мосту

2.3 Поліпшення експлуатаційних показників колісного МЕЗ при перерозподіл зчіпної ваги в його ходовій системі

3 Результати експериментальних досліджень

3.1 Результати експериментальних досліджень з розподілу зчіпної ваги мостами МЕЗ

3.2 Результати порівняльних господарських випробувань МЕЗ класу 1,4 з додатковим ведучим мостом на транспортних перевезеннях

3.3 Результати порівняльних господарських випробувань МЕЗ з додатковим ведучим мостом на сільськогосподарських роботах

Висновки

Список використаних джерел

Перелік графічного матеріалу

1. Загальні характеристики.

2. Схема руху агрегату.

3. Схема приєднання агрегату.

4. Тягова характеристика.

5. Загальний вид редуктора.

6. Деталювання.

7. Висновки

Дата видачі завдання «__» _____ 2024 р.

Керівник дипломного проєкту бакалавра

_____ (підпис)

Колеснік І.В.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

_____ (підпис)

Олексієнко Д.О.

(прізвище та ініціали студента)

ЗМІСТ

Реферат.....	3
Вступ.....	4
1 Стан питання. Мета та завдання досліджень.....	6
1.1 Аналіз шляхів підвищення ефективності використання колісних МЕЗ на транспортно-технологічних та польових сільськогосподарських роботах.....	6
1.2 Аналіз способів підвищення тягово-зчіпних властивостей МЕЗ.....	7
1.3 Висновки за розділом 1.....	11
2 Теоретичне обґрунтування підвищення ефективності використання МЕЗ.....	13
2.1 Обґрунтування економіко-математичної моделі функціонування МЕЗ у технології вирощування сільськогосподарських культур.....	13
2.2 Підвищення зчіпної ваги МЕЗ за рахунок постановки додаткового мосту.....	16
2.3 Поліпшення експлуатаційних показників колісного МЕЗ при перерозподіл зчіпної ваги в його ходовій системі.....	17
3 Результати експериментальних досліджень.....	29
3.1 Результати експериментальних досліджень з розподілу зчіпної ваги мостами МЕЗ.....	29
3.2 Результати порівняльних господарських випробувань МЕЗ класу 1,4 з додатковим ведучим мостом на транспортних перевезеннях.....	34
3.3 Результати порівняльних господарських випробувань МЕЗ з додатковим ведучим мостом на сільськогосподарських роботах.....	36
Загальні висновки.....	41
Список використаних джерел.....	43

РЕФЕРАТ

Обсяг дипломної роботи складає 50 сторінок основного матеріалу, кількість ілюстрацій – 12 шт., таблиць – 5 шт., бібліографічних найменувань за переліком посилань – 33 шт.

В дипломній роботі проаналізовано ефективність застосування та тягово-зчіпні якості мобільних енергетичних засобів та сільгоспагрегатів. Обґрунтовано доцільність підвищення тягово-зчіпних властивостей МЕЗ за рахунок розподілу зчіпної ваги. Розроблена економіко-математичну модель оцінки ефективності використання МЕЗ у технології вирощування сільськогосподарських культур при перерозподілі зчіпної ваги. Наведено результати порівняльні досліджень мобільних енергетичних засобів і сільгоспагрегатів в процесі виконання транспортних і польових робіт.

Ключові слова: мобільний енергетичний засіб, зчіпна вага, сільськогосподарський агрегат, польові роботи, транспортні роботи, колісний рушій, тягово-зчіпні властивості, тракторно-транспортний агрегат, машинно-тракторний агрегат.

ВСТУП

Аналізування рівня механізації показує, що в аграрному секторі помічається стійка тенденція до зменшення чисельного складу мобільних енергетичних засобів (МЕЗ), що підвищує навантаження на задіюванні засобів механізації. Вочевидь, що існуюча ресурсний базис енергозасобів, сільгоспмашин та сільгоспагрегатів не дозволяє проводити нормативний об'єм технологічних операцій, що відображається на кількості оброблюваних площ та загального збирання сільськогосподарської продукції.

Економічна ситуація, яка склалася у даний час, цілеспрямоване та велике оновлення МТП, як одного із базису збільшення продуктивності і ефективності виконання технологічних процесів, не завжди є здійснимим.

У зв'язку з чим постає необхідність підтримки у роботоздатному стані засобів механізації, які знаходяться в наявності у сільгосппідприємствах, при зростанні їх функціональних можливостей, продуктивності і ефективності при застосуванні. Передусім ця проблема гостро існує в зонах на агрофонах з низькою несучою спроможністю ґрунтів.

На основі здійсненого аналізу сьогоденного стану раніш розглянутого питання було з'ясовано, що збільшити ефективність застосування МЕЗ і с.-г. агрегатів при виконанні транспортних і польових робіт можливо шляхом розподілу зчіпної ваги, яка припадає на рушії енергозасобу, що є найперспективнішим напрямком: підвищення ефективності застосування МЕЗ і сільгоспагрегатів на технологічних процесах транспортних і польових робіт можливо досягти раціональним розподілом зчіпної ваги. Це можливо досягти за допомогою введення в ходову систему енергозасобу або сільгоспагрегату, який буксирується, сучасних науково-технічних та конструкторських рішень, придатних врешті поширити функціональність їх використання у технологіях оброблення сільгоспкультур, поліпшити потужнісні та тягові показники, подовжити строк експлуатування без зниження якісних показників та факторів безвідмовності, що, безсумнівно, є важним і необхідним завданням.

Мета та задачі дослідження. Підвищення ефективності застосування мобільних енергетичних засобів і сільгоспагрегатів при виконанні транспортних і польових робіт за рахунок поліпшення тягово-зчіпних властивостей при розподілі зчіпної ваги.

Для рішення поставленої мети визначено такі задачі досліджень:

– дати обґрунтування доцільності підвищення тягово-зчіпних властивостей мобільних енергетичних засобів за рахунок перерозподілу зчіпної ваги;

– розробити математичну модель оцінки ефективності застосування мобільних енергетичних засобів у технології обробітку сільськогосподарських культур при перерозподілі зчіпної ваги;

– виявити вплив зростання опорної поверхні рушіїв мобільного енергетичного засобу і засобів для розподілу зчіпної ваги на експлуатаційні показники енергозасобу і вплив на ґрунт;

– провести випробування (порівняльні) мобільних енергетичних засобів і сільгоспагрегатів при виконанні транспортних і польових робіт.

Об'єкт дослідження – процес взаємодії колісного рушія з ґрунтом при перерозподілі зчіпної ваги.

Предмет дослідження – вивчення закономірностей, що визначають вплив перерозподілу зчіпної ваги на поліпшення ефективності застосовування мобільних енергетичних засобів та сільськогосподарських агрегатів на польових та транспортних роботах.

1. СТАН ПИТАННЯ. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Аналіз шляхів підвищення ефективності використання колісних МЕЗ на транспортно-технологічних та польових сільськогосподарських роботах

Транспортно-технологічні та польові сільськогосподарські роботи в технології виробництва сільськогосподарської продукції складають невід'ємну частину всього технологічного процесу, виконання яких витрачаються значні трудові та енергетичні витрати.

При цьому необхідно зазначити, що для повноцінного забезпечення процесу сільськогосподарського виробництва потрібно понад 250 найменувань вантажів, що в кінцевому підсумку викликає велику потребу в транспортних засобах, що його обслуговують [1, 2, 3].

Як показують дослідження, частка витрат на транспортування вантажів становить 20-40% загальної суми витрат на виробництво продукції, а в окремих випадках (при виробництві силосу та сінажу) ця цифра досягає та 65-70% [4, 5]. При цьому витрати енергії складають близько 50%, а обсяг вантажоперевезень становить від 20 до 60 т км на 1 га ріллі [6, 7].

У Німеччині перевозиться тракторним транспортом до 75% вантажів сільськогосподарського призначення, у Франції – 90 %, Польщі – до 52%, США – понад 35%, Угорщини – до 77%, Норвегії – понад 90% [8].

Ефективність використання МЕЗ на транспортних роботах у сільськогосподарському виробництві пояснюється можливістю їх швидкого пересування як дорогами з покращеним покриттям, так і ґрунтовими польовими та сільськогосподарськими дорогами.

На ефективність застосування МЕЗ на транспортних роботах впливають такі фактори: природно-кліматичні умови, швидкість руху, енергетичні показники МЕЗ, тягово-зчіпні властивості, відстань вантажоперевезень, вантажопідйомність тощо.

Автори численних досліджень дійшли висновку, що підвищити

ефективність функціонування транспортно-технологічного забезпечення агропромислового комплексу можливо за рахунок скорочення номенклатурних видів вантажів та об'єднання транспортних операцій, що дозволить знизити транспортні витрати та зменшити потребу у рухомому складі. Однією зі складних та найбільш напруженою сільськогосподарською операцією є завершальний етап польових робіт – збирання врожаю.

На підставі аналізу літературних джерел необхідно зазначити, що для підвищення ефективності використання МЕЗ на транспортно-технологічних та польових сільськогосподарських роботах, необхідно підвищення їх тягово-зчіпних властивостей, одним із найбільш дієвих способів досягнення цього результату є регулювання зчіпної ваги.

1.2 Аналіз способів підвищення тягово-зчіпних властивостей МЕЗ

Тягово-зчіпні властивості МЕЗ залежать від фізичних властивостей ґрунту, конструктивних параметрів, зчіпної ваги, колісної формули трактора, розмірів рушіїв, тиску у шинах, швидкостей тощо.

Взаємодія рушіїв із ґрунтом не тільки зумовлює динаміку енергозасобу і її продуктивність, а й позначається на технологіях обробітку сільгоспкультури. Ущільнення ґрунту і утворення на ньому поглиблення (сліду) позначаються на розвитку рослини та агротехнологічних операціях – міжрядної обробки, збирання, а, в результаті, і на врожайності культури, що вирощується [9].

У МЕЗ, з метою зниження тиску на ґрунт та буксування, використовують шини широкого профілю, низький тиск у шинах. На окремих моделях мобільних енергетичних засобів використовують подвоєні колеса. У тракторах із колісною формулою 4К2 ці колеса встановлюють на задній ведучий міст, а в тракторах з колісною формулою 4К4 – на обидва ведучі мости.

Для збільшення зчіпної ваги трактора застосовують баласт та довантажувачі ведучих коліс. У якості баласту використовують металеві вантажі, воду або незамерзаючий розчин, що заливається в шини, що дозволяє

збільшити тягове зусилля трактора на 15-20% [10, 11, 12]. Однак застосування баластування спричиняє збільшення маси трактора, що підвищує і так високий нормальний тиск на ґрунт. Це сприяє продавлюванню верхнього шару ґрунту до підстилаючого шару у вигляді мерзлоти, втрати прохідності на ранньовесняних польових роботах, збільшення опору руху трактора, спричиняє втрати потужності на кочення, зменшує коефіцієнт корисної дії (ККД).

Для підвищення тягово-зчіпних властивостей МЕЗ, що мають привод тільки на задні колеса, використовуються різні конструкції довантажувачів коліс [13]. Зчіпна вага при цьому збільшується як за рахунок маси навісних знарядь, і від перерозподілу ваги самого трактора з передніх коліс на задні [14,15].

Дані досліджень, наведені в роботах [16, 17] показують, що застосування гідродовантажувачів ведучих коліс підвищує тягово-зчіпні властивості колісного трактора, зменшує буксування та значно знижує опір ґрунту обробітку, збільшує ККД у середньому на 43%.

Одним із способів підвищення тягово-зчіпних властивостей МЕЗ є збільшення числа ведучих коліс, прикладом є МЕЗ з колісною формулою 4К4. Це дає можливість реалізації для зчеплення з ґрунтом практично всієї ваги МЕЗ, тоді як у МЕЗ з двома ведучими колесами для цієї мети може бути використана тільки частина його ваги.

При використанні МЕЗ з колісною формулою 4К4, значно знижується крутний момент реалізований через задні колеса, що в свою чергу знижує буксування. Максимальна реалізація тягово-зчіпних властивостей МЕЗ досягається при десятивідсотковому буксуванні, тому що при буксуванні понад 10% відбувається зріз ґрунту [18, 19]. Тягова динаміка МЕЗ з компонованням 4К4 багато в чому залежить від того, як здійснюється привод до ведучих осей. В даний час застосовуються два основні типи приводів – блокування та диференціальний.

Істотним недоліком у трактора з блокованим приводом є наявність кінематичної невідповідності і паразитної потужності.

Сила тяги трактора залежить від сили тяги коліс, що є важливим недоліком диференціального приводу [20, 21, 22].

Як показали дослідження, кращі результати дає автоматичний диференціал, що блокується, ведучих коліс, що забезпечує блокування півосей при однакових швидкостях ведучих коліс. Крім того, автоматичне відключення колеса, що забігає при повороті трактора і передача всього, що підводиться до мосту крутного моменту на колесо, що відстає, забезпечує високу прохідність трактора у важких умовах експлуатації [23, 24].

У роботах [25, 26, 27] зазначається, що одним із способів збільшення тягово-зчіпних властивостей та зниження техногенного впливу на ґрунт є збільшення зчіпної ваги агрегату за рахунок застосування додаткового ведучого мосту.

При аналізі застосовуваних методів підвищення тягово-зчіпних властивостей МЕЗ були визначені способи (рис. 1.1), що дозволяють досягти результатів ефективності за рахунок перерозподілу зчіпної ваги, та запропоновані шляхи та методи перерозподілу зчіпної ваги (рис. 1.2) [28].

З усіх перерахованих вище способів найбільш прийнятним у періоди перезволоження та снігових заметів є перерозподіл зчіпної ваги між мостами, а при встановленні додаткового ведучого мосту – його додаткове силове довантаження.

Це пояснюється тим, що основним мобільним енергетичним засобом у селянсько-фермерських господарствах є колісні трактори класу 1,4, які найчастіше використовуються на допоміжних роботах через невисокі тягово-зчіпні властивості.

Так для МЕЗ формули 4К2 цих класів навішування додаткового обладнання збільшує зчіпну вагу, що припадає на передній керований міст, що погіршує керованість та збільшує навантаження на передні колеса. У цих умовах найбільш раціональним способом є перерозподіл частини зчіпної ваги з передньої керованого на додатковий ведучий міст.

Це дає можливість раціонально застосовувати зчіпну вагу енергозасобу і

побільшити опорну площину за рахунок зростання плями контакту рушіїв, а так само дасть можливість уникнути ефекту втрати курсової стійкості внаслідок конструкційної диспропорційної навантаженості осей енергозасобу при агрегуванні колісних енергозасобів навісними сільгоспзнаряддями або їх використання у складі тракторно-транспортних агрегатів.



Рисунок 1.1. Основні способи підвищення тягово-зчіпних властивостей МЕЗ

Випробування показують, що стабілізації курсової стійкості і поліпшення тягово-зчіпних показників колісного енергозасобу можна досягнути розподілом ваги між його осями і зміною становища центру мас енергозасобу.

При використовуванні машинно-тракторних агрегатів із сільгоспагрегатами, які мають великий тяговий опір, методи, що запропоновані, дають можливість розподілити зчіпну вагу між енергозасобом та с.-г. машиною, що дає можливість вирішити завдання короткотермінового зниження сили опору руху агрегату без зміни параметрів і якості оброблення ґрунту, а, таким чином, підвищити продуктивність і ефективність використання колісних

енергозасобів класу 1,4 у аграрному секторі, поширивши функційність застосування даного тягового класу.



Рисунок 1.2. Очікувані результати від застосування пристроїв, що коригують зчіпну вагу

1.3 Висновки за розділом 1

Проведений огляд раніше проведених теоретичних та експериментальних досліджень, дозволяє зробити наступні висновки:

1. Основні сільськогосподарські роботи проводять в умовах, коли ґрунти мають слабку несучу здатність, що знижує тягово-зчіпні властивості використовуваних енергетичних засобів у склад МТА. Наявність зимового льоду та снігових заметів знижує ефективність використання ТТА на транспортно-технологічних роботах.

2. Склад парку енергетичних засобів скоротився внаслідок природних втрат та неможливості її кількісного оновлення з економічних причин, що спричинило збільшення навантаження на трактор та транспортну одиницю, або,

як наслідок, скорочення обсягів вантажу, що перевозиться, і обробки ріллі. Усунення цієї проблеми можливе за рахунок використання на транспортних та сільськогосподарських роботах енергонасичених МЕЗ.

3. Дослідження, присвячені аналізу роботи МЕЗ на транспортних та польових роботах показали, що ефективність їх використання багато в чому залежить від найбільшої реалізації їх тягово-зчіпних властивостей.

4. Підвищення тягово-зчіпних властивостей колісних МЕЗ можливе за рахунок перерозподілу зчіпної ваги між мостами трактора, при встановленні додаткового ведучого моста – його силовому довантаженні, а також перерозподіл зчіпної ваги у ланці «енергетичний засіб – сільськогосподарський агрегат» у складі ТТА або МТА.

5. Для обґрунтування ефективності використання МЕЗ з пристроями для перерозподілу зчіпної ваги необхідно проведення теоретичних та експериментальних досліджень.

2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕЗ

2.1 Обґрунтування економіко-математичної моделі функціонування МЕЗ у технології вирощування сільськогосподарських культур

Аналіз технологій рослинництва та умов ефективності застосування засобів механізації під час обробітку сільськогосподарських культур показує, що обсяг, якість та точність виконання функціонально необхідних операцій багато в чому залежить від найбільш повної реалізації тягово-зчіпних властивостей МЕЗ, а також наявності та раціонального підбору машин для його агрегаткування.

При цьому слід зазначити, що важливим фактором підвищення ефективності роботи засобів механізації в технології, що застосовується, є дотримання основних агротехнічних вимог. При цьому особлива роль приділяється дотриманню термінів виконання сільськогосподарських робіт та зниження техногенного впливу на ґрунт. Ці умови можуть бути реалізовані за рахунок розширення функціональних можливостей МЕЗ при модернізації його ходової системи для перерозподілу зчіпної ваги залежно від виду виконуваних робіт та умов експлуатації.

Розширення функціональних можливостей МЕЗ доцільно рахунок суміщення низки операцій. У той же час цей напрямок супроводжується необхідною умовою збільшення тягової потужності МЕЗ та підвищенням його ваги. Збільшення ваги МЕЗ, відповідно, посилює техногенний вплив на ґрунти, що, зрештою, позначається на родючості ґрунту і, як наслідок, веде до зниження врожайності та збільшення собівартості одиниці продукції.

Аналіз проведених досліджень показав, підвищення конкурентоспроможності сільгосппродукції на ринку товаровиробників досяжно за рахунок зниження її собівартості.

Якщо розглядати собівартість одиниці виробленої продукції з погляду

повних енерговитрат виробництва, має виконуватися таке вимога:

$$E_{нов} = \sum_{i=1}^n E_i \rightarrow \min, \quad (2.1)$$

де E_i – енерговитрати на i -тої операції;

n – число операцій.

Забезпечення виконання вимог (2.1) має супроводжуватись дотриманням основних умов: достатнім тяговим зусиллям; оптимальним техногенним впливом на ґрунт; дотримання агротехнічних термінів.

Перша умова має забезпечувати можливість виконання технологічної операції:

$$P_{\kappa} = f(G_{zn}, V) \geq [P_{on}], \quad (2.2)$$

де G_{zn} – зчіпна вага, що залежить від конструктивно-режимних показників, Н;

V – швидкість руху енергетичного засобу, залежить від сукупності факторів застосовуваної технології, кліматичних та ґрунтових умов, м/с;

$[P_{on}]$ – опір руху від сільськогосподарської машини, Н.

Друга умова має забезпечувати збереження родючості ґрунту:

$$q = f(G_{zn}, V) \rightarrow \leq [q_{on}], \quad (2.3)$$

де $[q_{on}]$ – гранично допустимий нормальний тиск на ґрунт енергетичного засобу.

Третя умова має забезпечувати дотримання оптимальних агротехнічних термінів:

$$T = f(G_{zn}, V) \rightarrow \leq [T_{on}]. \quad (2.4)$$

З вищевказаного можна зробити висновок, що всі необхідні для роботи моделі умови залежить від зчіпної ваги, продуктивності і швидкості руху МЕЗ, тобто від конструктивно-режимних та технологічних факторів:

$$\left. \begin{aligned} E_{нов} &= f(W, G_{зн}) \rightarrow \min \\ W &= f(G_{зн}, V) \rightarrow \max \\ T &= f(G_{зн}, V) \rightarrow \text{opt} \end{aligned} \right\}, \quad (2.5)$$

де W – продуктивність МТА, га/год.;

T – оптимальні агротехнічні терміни, доб.

Аналіз отриманих значень показує, що для об'єктивної та повнішої оцінки використовуваних засобів механізації необхідно враховувати ефект від зниження повних енерговитрат, отриманих в результаті отримання додаткової продукції.

З вищевказаного можна зробити висновок, що зниження енерговитрат за рахунок отримання додаткової продукції, може бути отримано від витримування агротехнічних термінів і зниження техногенного впливу на ґрунт.

Повні енерговитрати, одержані від додаткової продукції, рівні:

– від зниження переущільнення ґрунту $E_{n.д.у}$ [19, 29]

$$E_{n.д.у} = E_{yд} \cdot \Pi_1 = E_{yд} \cdot 3,9(\rho_{д} - \rho_{он}), \quad (2.6)$$

де $E_{yд}$ – енерговміст одиниці продукції, МДж/кг;

Π_1 – втрати врожаю від переущільнення ґрунту, кг;

$\rho_{он}$ – оптимальна щільність ґрунту до проходу МТА, г/см³;

$\rho_{д}$ – дійсна щільність ґрунтів після проходу МТА, г/см³;

– від дотримання агротехнічних термінів $E_{n.д.м}$ [19, 29]:

$$E_{n.д.м} = E_{yд} \cdot K_y \cdot K_1 \cdot U \cdot (D - 1), \quad (2.7)$$

де K_1 – коефіцієнт врожайності;

K_y – коефіцієнт ущільнення;

U – врожайність сільськогосподарської культури, ц/га;

D – тривалість сільськогосподарських робіт, дн.

З урахуванням вищевикладеного у загальному вигляді економіко-математична модель оцінки ефективності використання енергетичних засобів зі змінною зчіпною вагою може бути представлена:

$$E_{нов} = \Delta E_{ef} = E_c - E_{np} \rightarrow max, \quad (2.8)$$

$$E_{n.d.y} = 3,9E_{y\delta}(\rho_{\delta} - \rho_{on}) \rightarrow min, \quad (2.9)$$

$$E_{n.d.m} = E_{y\delta} \cdot K_y \cdot K_1 \cdot U \cdot (D - 1) \rightarrow min, \quad (2.10)$$

де ΔE_{ef} – економія енерговитрат, МДж;

E_c – енерговитрати існуючої технології вирощування сільськогосподарських культур, МДж;

E_{np} – енерговитрати пропонованої технології вирощування сільськогосподарських культур, МДж,

$E_{n.d.y}$ – економія повних енерговитрат від зниження переущільнення ґрунту, МДж;

$E_{n.d.m}$ – економія повних енерговитрат від дотримання агротехнічних термінів, МДж.

Таким чином для реалізації вище наведеної економіко-математичної моделі необхідно вирішити питання раціонального перерозподілу зчіпної ваги.

2.2 Підвищення зчіпної ваги МЕЗ за рахунок постановки додаткового мосту

У сільськогосподарському виробництві на внутрішньогосподарських перевезеннях великий обсяг посідає частку тракторних поїздів. Це пов'язано з тим, що транспортування сільськогосподарської продукції відбувається у складних ґрунтово-кліматичних умовах. Навесні та восени це підвищена вологість ґрунту, а в зимовий період – зледеніння доріг та снігові замети. У

зв'язку з цим питання підвищення тягово-зчіпних властивостей тракторно-транспортних агрегатів (ТТА) у цих умовах є актуальним.

Найчастіше на внутрішньогосподарських перевезеннях задіяні енергонасичені колісні трактори класу 1,4. Водночас понад 70 % МЕЗ даного класу мають колісну формулу 4К2. У МЕЗ даного класу тягово-зчіпна вага використовується не повністю.

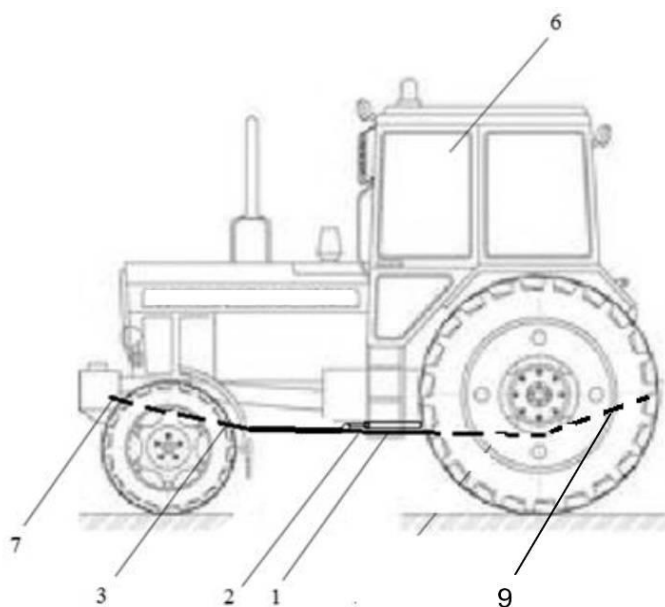
Для підвищення тягово-зчіпних властивостей даних МЕЗ пропонується частину ваги, що припадає на передній керований міст, передати на ведучий міст і тим самим підвищити тягово-зчіпні властивості енергетичного засобу. При використанні МЕЗ даного класу на них, як правило, встановлюється додаткове робоче обладнання для виконання допоміжних робіт, що у свою чергу ускладнює керування даними тракторами. Тому розгляд питання перерозподілу зчіпної ваги в його ходовій системі представляє інтерес. Поряд із цим перерозподіл зчіпної ваги на задні ведучі колеса обмежено допустимими навантаженнями на встановлені шини. В даних умовах ефективним способом підвищення тягово-зчіпних властивостей та поліпшення прохідності колісних МЕЗ на транспортних роботах є постановка додаткового ведучого мосту та передача на нього частини ваги з керованого мосту, що сприятиме покращенню прохідності ТТА (МТА).

2.3 Поліпшення експлуатаційних показників колісного МЕЗ при перерозподіл зчіпної ваги в його ходовій системі

У процесі виконання сільськогосподарських робіт при агрегуванні колісних енергозасобів із навісними сільгоспзнаряддями або їх використання у складі тракторно-транспортних агрегатів (ТТА) можливе утворення ефекту втрати курсової стійкості внаслідок конструкційної диспропорційної навантаженості осей МЕЗ, що впливає на тягово-зчіпні властивості енергетичного засобу, знижуючи його швидкісні характеристики, продуктивність і ефективність при виконанні робіт. Випробування показують,

що стабілізація курсової стійкості і поліпшення тягово-зчіпних показників колісного енергозасобу можливо досягнути розподілом ваги між його осями і зміною становища центру мас МЕЗ.

Пропонований пристрій, гідроланцюговий регулятор ваги (рис. 2.1, рис. 2.2), здатний перерозподіляти частину власного навантаження МЕЗ між його заднім ведучим мостом та переднім керованим мостом через натяг гнучкого ланцюгового силового зв'язку силовим гідроциліндром. Гідроланцюговий регулятор ваги енергетичного засобу містить тягово-довантажувальний пристрій 1, що складається з силового гідроциліндра 2 та гнучкого ланцюгового силового зв'язку 3 з вушками. Силовий гідроциліндр встановлений у кронштейні 4, змонтованому на болтових з'єднаннях нижній частині коробки передач 5 МЕЗ 6, гнучкий ланцюговий силовий зв'язок протягнутий через передній зчіпний пристрій та верхню частину панчохи переднього керованого моста 7, проходить через вилку 8 робочого штока гідроциліндра і встановлена вушком в зчіпному пристрої 9, при цьому гнучкий ланцюговий силовий зв'язок закріплений у вилці гідроциліндра і однієї з її ланок фіксує пальцем.



1 – тягово-довантажувальний пристрій; 2 – силовий гідроциліндр; 3 – гнучкий ланцюговий силовий зв'язок; 4 – установчий кронштейн; 5 – коробка зміни передач; 6 – МЕЗ; 7 – передній керований міст; 8 – вилка робочого штока гідроциліндра; 9 – буксирний пристрій

Рисунок 2.1. Колісний МЕЗ із встановленим гідроланцюговим регулятором ваги

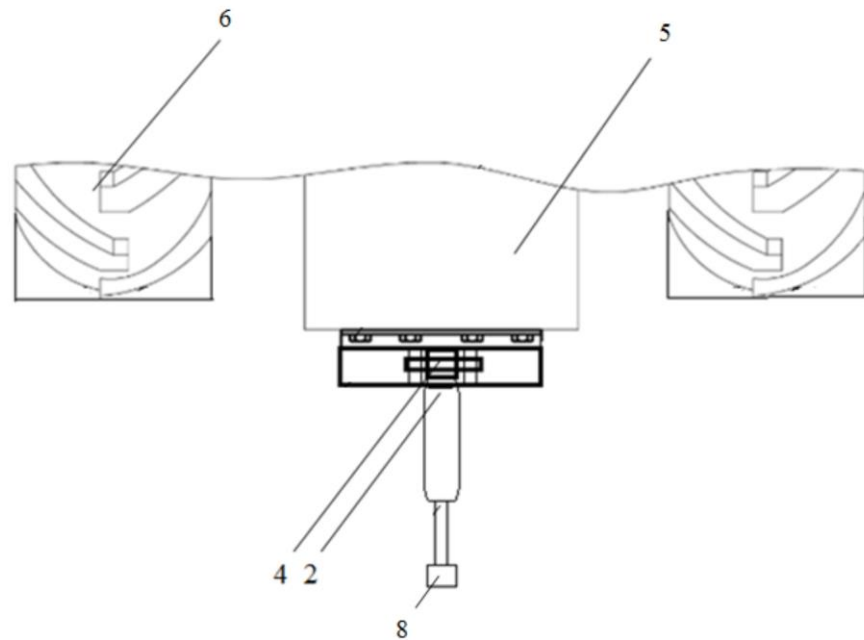


Рисунок 2.2. Принципова схема установки силового гідроциліндра регулятора ваги колісного енергетичного засобу

Пристрій працює наступним чином: при русі колісного мобільного енергетичного засобу, по ґрунтах з низькою несучою здатністю, збільшення буксування або при відриві переднього керованого мосту від поверхні, оператор через гідророзподільник МЕЗ, подає робочу рідину в силовий гідроциліндр, при цьому вилка робочого штока гідроциліндра натискає гнучку ланцюгову силову зв'язок, натягуючи її, що веде до перерозподілу вагового навантаження з агрегатованої навісної системи та задніх ведучих коліс МЕЗ на передній керований міст, зміщуючи розташування центру мас МЕЗ, збільшуючи його стійкість до перекидання, стабілізуючи курсову стійкість, підвищує тягово-зчіпні властивості, а також прохідність агроагрегату по слабонесучим ґрунтам.

При необхідності перерозподілу вертикального навантаження з переднього керованого мосту на задні ведучі колеса та остов МЕЗ, оператор подає робочу рідину в іншу порожнину силового гідроциліндрів. При цьому робочий шток

гідроциліндра втягується, натягуючи гнучкий ланцюговий силовий зв'язок, тим самим перерозподіляю навантаження з переднього керованого мосту на задні ведучі колеса та задню частину МЕЗ, що також підвищує тягово-зчіпні властивості енергетичного засобу.

Розглянемо варіанти перерозподілу ваги колісного енергетичного засобу при різних режимах роботи пристрою, використовуючи відомі залежності [30]:

– у статичному нерухомому положенні колісного енергетичного засоби (рис. 2.3);

– перерозподіл вагового навантаження із заднього ведучого мосту на передній керований міст енергетичного засобу (робочий режим 1) (рис. 2.4);

– перерозподіл вагового навантаження з переднього керованого мосту на задній ведучий міст енергетичного засобу (робочий режим 2) (рис. 2.6).

Для визначення реакції опор енергетичного засобу поверхню без роботи пристрою перерозподілу ваги складемо рівняння рівноваги МЕЗ, використовуючи рис. 2.3.

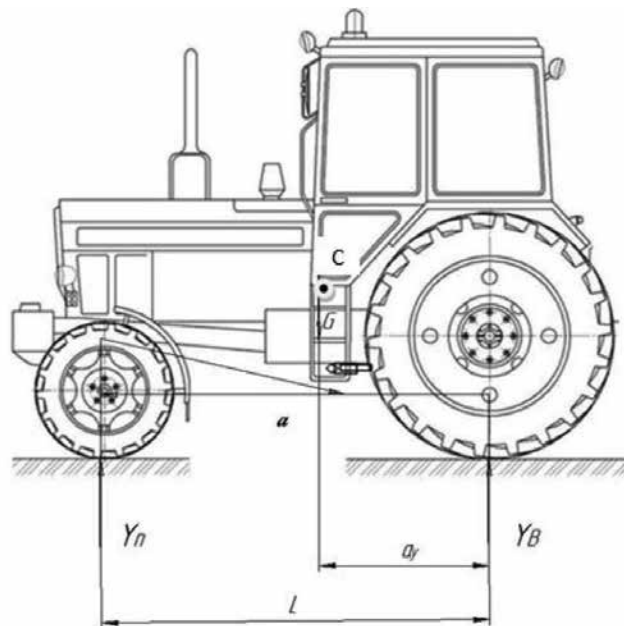


Рисунок 2.3. Схема визначення реакції опор енергетичного засобу на поверхню в статичному нерухомому становищі

де Y_n і Y_B – реакції поверхні під переднім та ведучим мостами МЕЗ,

G – вага МЕЗ, Н, L – колісна база МЕЗ, м,

a_y – відстань від точки застосування вагового навантаження на задньому ведучому мосту МЕЗ до вертикальної проекції центру мас, м,

α – кут між площинами кріплення ланцюгового силового зв'язку пристрою,

C – центр мас МЕЗ:

При $\sum M_n = 0$

$$-Y_g \cdot L + G(L - a_y) = 0, \quad (2.11)$$

при $\sum M_g = 0$

$$Y_n \cdot L - G \cdot a_y = 0, \quad (2.12)$$

і отримуємо:

$$Y_g = \frac{G(L - a_y)}{L}, \quad (2.13)$$

$$Y_n = \frac{Ga_y}{L}. \quad (2.14)$$

Визначимо положення центру мас МЕЗ:

При $\sum M_c = 0$

$$-Y_n \cdot (L - a_y) + Y_g \cdot a_y = 0, \quad (2.15)$$

або

$$-Y_n L + Y_n a_y + Y_g \cdot a_y = 0, \quad (2.16)$$

при вирішенні отримуємо:

$$a_y = \frac{-Y_n L}{Y_n + Y_g}. \quad (2.17)$$

Складемо рівняння рівноваги визначення реакції опор МЕЗ на поверхню при висуванні штока гідроциліндра пристрою (режим роботи 1) (рис. 2.4),

де Y'_g, Y'_n – вертикальні реакції поверхні під переднім та ведучим мостами МЕЗ, Н;

X'_g, X'_n – горизонтальні реакції поверхні під переднім та ведучим мостами

МЕЗ, Н;

P_e – зусилля гідроциліндра, Н;

h_b – висота установки кронштейна кріплення силового зв'язку пристрою на ведучому мосту МЕЗ, м;

a'_y – відстань від точки застосування вагового навантаження на задньому ведучому мосту МЕЗ до вертикальної проекції центру мас МЕЗ, м;

C' – точка зміщеного центру мас МЕЗ.

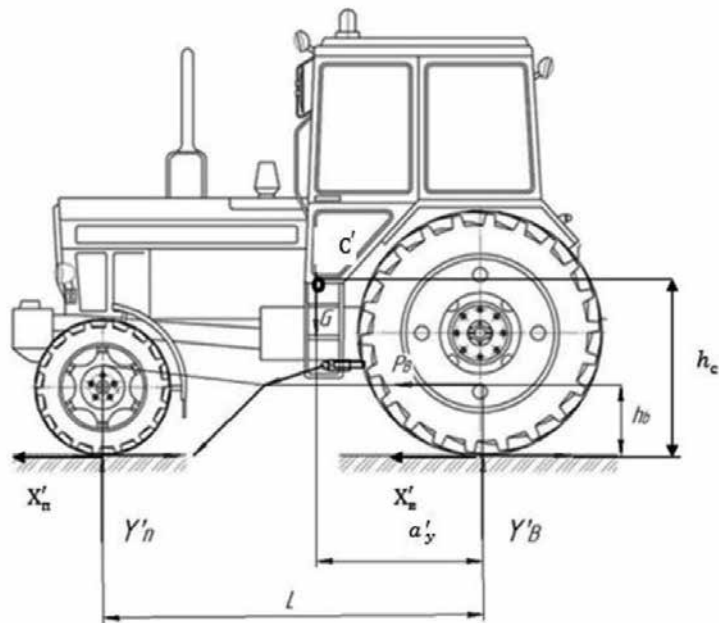


Рисунок 2.4. Схема визначення реакції опор енергетичного засобу на поверхню (режим 1)

Зусилля гідроциліндра P_e приймаємо як зусилля на ходову систему МЕЗ, що передається по гнучкому силовому зв'язку із зони її кріплення на кронштейні поблизу ведучих коліс:

$$\text{При } \sum M_n = 0$$

$$Y'_e \cdot L - P_e \cdot h_b + G(L - a'_y) = 0, \quad (2.18)$$

$$\text{при } \sum M_e = 0$$

$$Y'_n \cdot L - G \cdot a'_y - P_e \cdot h_b = 0, \quad (2.19)$$

тоді отримуємо:

$$Y'_\epsilon = \frac{G(L - a'_y) - P_\epsilon \cdot h_g}{L} = \frac{G(L - a'_y)}{L} - \frac{P_\epsilon \cdot h_g}{L}, \quad (2.20)$$

$$Y'_n = \frac{Ga'_y + P_\epsilon \cdot h_g}{L} = \frac{Ga'_y}{L} + \frac{P_\epsilon \cdot h_g}{L}. \quad (2.21)$$

Розглянемо вплив роботи пристрою на положення центру мас МЕЗ при перерозподілі вагового навантаження із заднього ведучого моста на передній керований міст енергетичного засобу (робочий режим 1) (рис. 2.4, рис. 2.5).

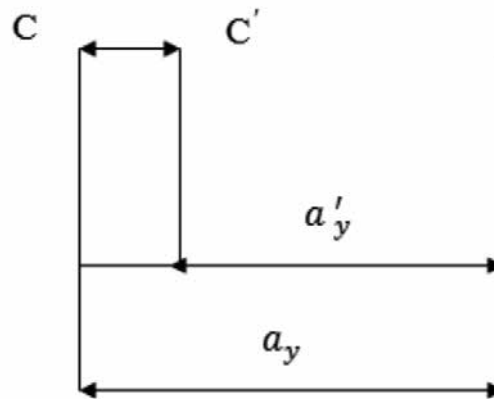


Рисунок 2.5. Схема зміщення центру мас МЕЗ під час роботи пристрою в режимі 1

Складемо рівняння рівноваги:

При $\sum X = 0$

$$P_\epsilon + X'_\epsilon + X'_n = 0, \quad (2.22)$$

$$P_\epsilon = X'_\epsilon + X'_n. \quad (2.23)$$

При $\sum M_{C'} = 0$

$$-Y'_n \cdot (L - a'_y) - P_\epsilon \cdot (h_c - h_b) + Y'_\epsilon \cdot a'_y + X'_n h_c + X'_\epsilon h_c = 0 \quad (2.24)$$

або

$$-Y'_n \cdot L + Y'_n a'_y - P_\epsilon \cdot h_c + P_\epsilon \cdot h_b + Y'_\epsilon \cdot a'_y + h_c (X'_n + X'_\epsilon) = 0, \quad (2.25)$$

при вирішенні отримуємо відстань усунення центру мас:

$$a'_y = \frac{Y'_n L - P_\epsilon \cdot h_b}{Y'_n + Y'_\epsilon}. \quad (2.26)$$

Аналіз отриманих виражень показує, що при висуванні штока гідроциліндра пристрою (робочий режим 1) відбувається перерозподіл вагового навантаження із заднього ведучого мосту на передній керований міст МЕЗ, при цьому центр мас МЕЗ здійснює зміщення у напрямок заднього ведучого мосту.

Для визначення реакції опор МЕЗ на поверхню при втягуванні штока гідроциліндра пристрою (режим роботи 2) та положення центру мас складемо рівняння рівноваги (рис. 2.6).

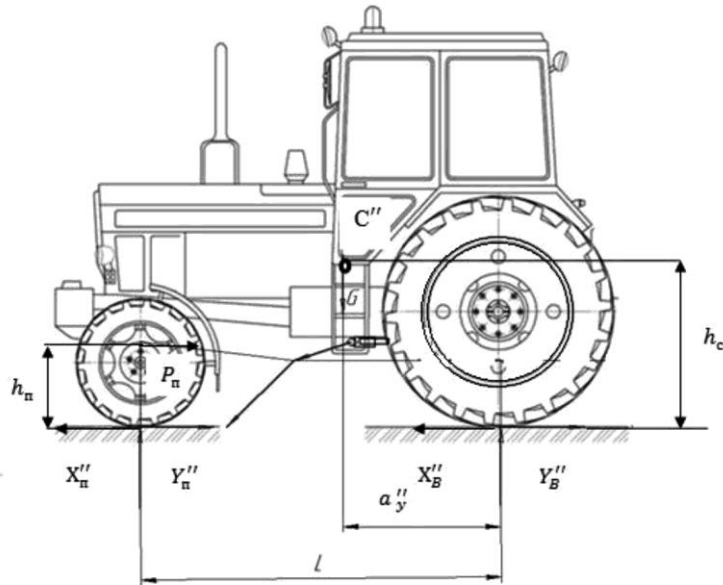


Рисунок 2.6. Схема визначення реакції опор енергетичного кошти на поверхню (режим 2)

де Y''_e, Y''_n – вертикальні реакції поверхні під переднім та ведучим мостами МЕЗ, Н;

X''_e, X''_n – горизонтальні реакції поверхні під переднім та ведучим мостами МЕЗ, Н;

P_n – зусилля гідроциліндра, Н;

h_n – висота установки кронштейна кріплення силового зв'язку пристрою на керованому мосту МЕЗ, м;

a''_y – відстань від точки прикладення вагового навантаження на задньому ведучому мосту МЕЗ до вертикальної проекції центру мас МЕЗ, м;

C'' – зміщений центр мас МЕЗ.

Зусилля гідроциліндра P_n приймаємо як зусилля на ходову систему МЕЗ, що передається по гнучкому силовому зв'язку із зони її кріплення на передньому керованому мосту.

Складемо рівняння рівноваги МЕЗ:

При $\sum M_n = 0$

$$- Y''_e \cdot L + G(L - a''_y) - P_n \cdot \cos \alpha \cdot h_n = 0, \quad (2.27)$$

при $\sum M_e = 0$

$$Y''_n \cdot L - G \cdot a''_y + P_n \cdot \cos \alpha \cdot h_n - P_n \cdot \sin \alpha \cdot L = 0, \quad (2.28)$$

при рішенні отримуємо:

$$Y''_e = \frac{G(L - a''_y) - P_n \cdot \cos \alpha \cdot h_n}{L} = \frac{G(L - a''_y)}{L} - \frac{P_n \cdot \cos \alpha \cdot h_n}{L}, \quad (2.29)$$

$$Y''_n = \frac{Ga''_y + P_n \cdot \cos \alpha \cdot h_n + P_n \cdot \sin \alpha \cdot L}{L} = \frac{Ga''_y}{L} + \frac{P_n \cdot \cos \alpha \cdot h_n}{L} + P_n \cdot \sin \alpha. \quad (2.30)$$

Розглянемо вплив роботи пристрою на розташування центру мас МЕЗ при перерозподілі вагового навантаження з переднього керованого моста на задній ведучий міст енергетичного засобу (робочий режим 2) (рис. 2.6, рис. 2.7) та складемо рівняння рівноваги щодо центру мас МЕЗ, що зміщується:

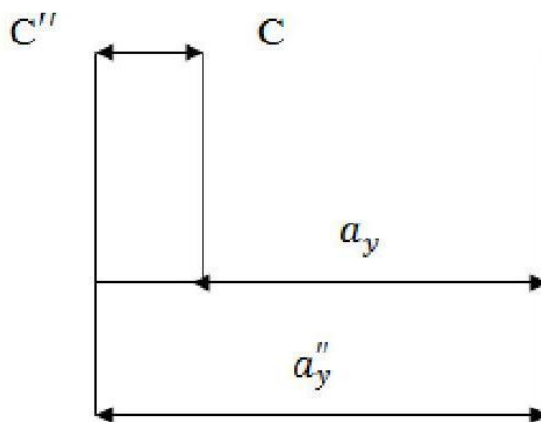


Рисунок 2.7. Схема зміщення центру мас МЕЗ під час роботи пристрою в режимі 2

При $\sum X = 0$

$$P_n \cos \alpha - X''_n - X''_e = 0 \quad (2.31)$$

або

$$P_n \cos \alpha = X''_n + X''_e \quad (2.32)$$

При $\sum M''_c = 0$

$$\begin{aligned} & -Y''_n(L - a''_y) + Y''_e a''_y - X''_n h_c - X''_e h_c + P_n \cdot \cos \alpha \cdot (h_c - h_n) + \\ & + P_n \sin \alpha \cdot (L - a''_y) = 0 \end{aligned} \quad (2.33)$$

або

$$\begin{aligned} & -Y''_n L + Y''_n a''_y + Y''_e a''_y - h_c \cdot (X''_n + X''_e) + P_n \cos \alpha h_c - P_n \cos \alpha h_n + \\ & + P_n \sin \alpha \cdot L - P_n \sin \alpha \cdot a''_y = 0. \end{aligned} \quad (2.34)$$

Використовуючи формулу(2.32) отримуємо:

$$a''_y = \frac{-Y''_n L + P_n \cos \alpha h_n - P_n \sin \alpha \cdot L}{-Y''_n + Y''_e - P_n \sin \alpha}. \quad (2.35)$$

Враховуючи, що значення кута α надзвичайно малі, отже $\sin \alpha \rightarrow 0$ тоді при подальших розрахунках значенням $\sin \alpha$ можна знехтувати. В результаті формула зміщення центру мас МЕЗ у робочому режимі 2 набуває вигляду:

$$a''_y = \frac{-Y''_n L + P_n \cos \alpha h_n - P_n \sin \alpha \cdot L}{-Y''_n + Y''_e}. \quad (2.36)$$

Розглянемо формування дотичної сили тяги $P_{кект}$ та гакового зусилля $P_{крект}$ енергетичного засобу із встановленим пневморегулятором:

$$P_{кект} = \varphi_{ект} \cdot G_{зчект}, \quad (2.37)$$

де $\varphi_{ект}$ – коефіцієнт використання зчіпної ваги експериментального МТА;

$G_{зчект}$ – зчіпна вага експериментального енергетичного засобу МТА, що припадає на задній ведучий міст, Н.

Для нашого випадку $G_{зчект}$ складатиметься з двох складових:

$$G_{зчект} = G_{з.в} + R, \quad (2.38)$$

де $G_{з.в}$ – вага що припадає на задній ведучий міст колісного МЕЗ, Н;

R – додаткова вага, що припадає на задній ведучий міст від перерозподілу вертикального навантаження під час роботи пристрою, Н.

Вага, що додатково передається, на задній ведучий міст в режимі перерозподілу навантаження в ходовій системі колісного МЕЗ R :

$$R = \frac{P_n \cdot \cos \alpha \cdot h_n}{L}. \quad (2.39)$$

де P_n – зусилля гідроциліндра, кПа;

h_n – висота установки кронштейна кріплення силового зв'язку пристрою на керованому мосту МЕЗ, м;

L – колісна база МЕЗ, м;

α – кут між площинами кріплення ланцюгового силового зв'язку пристрою.

Отже формула (2.41) з урахуванням формул (2.38) та (2.39) набуває вигляду:

$$P_{кект} = \varphi_{ект} \cdot \left(G_{з.в} + \frac{P_n \cdot \cos \alpha \cdot h_n}{L} \right). \quad (2.40)$$

Так як

$$P_{крект} = P_{кект} - P_{фект}, \quad (2.41)$$

де $P_{фект}$ – сила опору руху, Н.

Знаходимо $P_{крект}$ використовуючи формули (2.40) і (2.41):

$$P_{крект} = \varphi_{ект} \cdot \left(G_{з.в} + \frac{P_n \cdot \cos \alpha \cdot h_n}{L} \right) - P_{фект}. \quad (2.42)$$

Аналіз теоретичних досліджень та отриманих формул дозволяє зробити висновок про наступне:

1. При висуванні штока гідроциліндра пристрою (робочий режим 1) відбувається перерозподіл вертикального навантаження з ведучого мосту на передній керований міст, причому ведучий міст МЕЗ розвантажується, а

передній керований міст навантажується на величину, що дорівнює $\frac{P_e \cdot h_b}{L}$;

2. При втягуванні штока гідроциліндра пристрою (робочий режим 2) також відбувається перерозподіл вертикального навантаження, причому ведучий міст навантажується на величину, що дорівнює $\frac{P_n \cdot \cos \alpha \cdot h_n}{L}$, а передній ведучий міст розвантажується на величину $P_n \left(\cos \alpha \frac{h_n}{L} - \sin \alpha \right)$;

3. Зміщення центру мас МЕЗ відбувається: в режимі 1 – на величину, що дорівнює $a'_y = \frac{Y'_n L - P_e \cdot h_e}{Y'_n + Y'_e}$, у бік кормової частини МЕЗ, у режимі 2 – $a''_y = \frac{-Y''_n L + P_n \cos \alpha h_n - P_n \sin \alpha \cdot L}{-Y''_n + Y''_e}$ у бік фронтальної частини МЕЗ;

4. Перерозподіл вагових навантажень, а отже, зміна центру мас енергетичного засобу, дозволить регулювати центр мас МЕЗ, стабілізуючи його курсову стійкість, знизити можливість перекидання, підвищити тягово-зчіпні властивості, а також прохідність агроагрегату по слабонесучим ґрунтам.

5. Застосування гідроланцюгового регулятора ваги збільшує дотичну силу тяги та гакове зусилля МЕЗ за рахунок перерозподілу зчіпної ваги та коригування вертикального навантаження на рушії.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Результати експериментальних досліджень з розподілу зчпної ваги мостами МЕЗ

Тягово-зчпні властивості мобільного енергетичного засобу здебільшого визначаються його зчпною вагою, тобто вагою, що припадає на ведучі колеса МЕЗ. Існує ряд способів збільшення даної ваги: застосування різноманітних довантажувачів коліс; використання баластування; наповнення шин рідиною тощо. В той же час збільшення зчпної ваги можна досягти за рахунок перерозподілу зчпної ваги між мостами МЕЗ.

Як відомо при використанні МЕЗ з колісною формулою 4К2 використовується для формування дотичної сили тяги зчпна вага припадає тільки на задні ведучі колеса, так як вага, що припадає на передні ведучі колеса не використовуються. У той же час МЕЗ класу 1,4 з колісною формулою 4К2 у селянсько-фермерських використовуються на різних допоміжних сільськогосподарських роботах у всі пори року.

Дуже часто на МЕЗ даного класу навішується робоче обладнання для забезпечення вантажно-розвантажувальних робіт. Зокрема широке застосування дані МЕЗ знайшли при завантаженні та транспортуванні сіна, фуражу або соломи з полів. У той же час через недостатні тягово-зчпні властивості для забезпечення процесу транспортування тяговий опір на гаку штучно знижують за рахунок недовикористання вантажу, що перевозиться.

У зв'язку з цим виникає питання про перерозподіл частини навантаження з переднього керованого моста на задні ведучі колеса МЕЗ або на додатково встановлений ведучий міст. Це дозволить підвищити зчпну вагу МЕЗ, знизити нормальний тиск на ґрунт і підвищити тягово-зчпні властивості МЕЗ.

Крім цього встановлення додаткового ведучого мосту дозволяє збільшити площу контакту рушіїв із ґрунтом. З цією метою було запропоновано пристрій що дозволяє перерозподілити зчпну вагу між переднім мостом МЕЗ та

додатковим ведучим мостом.

Для знаходження результатів перерозподілу зчіпної ваги між мостами МЕЗ було проведено експериментальні дослідження.

Експериментальні виміри проводилися методом поперемінного навантаження за допомогою силових гідроциліндрів та пристроїв перерозподілу зчіпної ваги заднього ведучого мосту, додаткового ведучого мосту та переднього керованого мосту МЕЗ.

Отримані дані наведено у таблиці 3.1.

Аналізуючи отримані дані можна зробити такі висновки, що використання пристрою для перерозподілу зчіпної ваги між мостами МЕЗ дозволяє збільшити зчіпну вагу, що припадає на ведучі колеса МЕЗ.

Таблиця 3.1 – Розподіл навантаження по осях МЕЗ

№	Ведучий міст МЕЗ		Додатковий міст		Керований міст		Примітка
	кН	%	кН	%	кН	%	
1	22,0	61,1	–	–	14,0	38,9	Додатковий ведучий міст піднятий у транспортне положення
2	20,0	55,5	3,6	10	12,4	34,5	Додатковий ведучий міст опущений і на нього передається через вертикальний гідроциліндр частина ваги МЕЗ
3	17,4	48,3	12,4	34,4	6,2	17,3	Додатковий ведучий міст опущений і на нього передається частина ваги з переднього мосту МЕЗ

Так, у транспортному положенні (додатковий ведучий міст знаходиться в піднятому стані), розподіл зчіпної ваги по осях МЕЗ становив такі значення:

- на задній ведучий міст – 22,0 кН;
- на передній керований міст – 14,0 кН.

У положенні, коли додатковий ведучий міст знаходиться в опущеному, ненавантаженому стані (гідроциліндр не впливає через перерозподільний

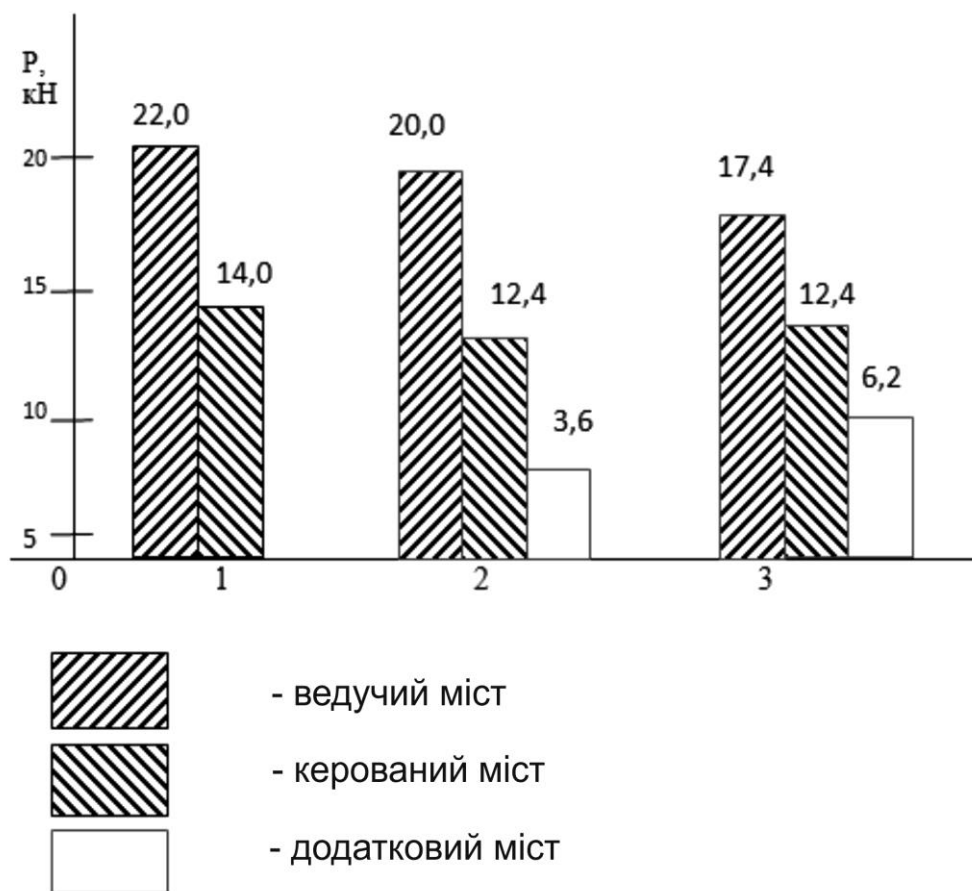
пристрій на додатковий ведучий міст) розподіл зчійної ваги склав наступні значення:

- на задній ведучий міст – 20,0 кН;
- на передній керований міст – 12,4 кН;
- на додатковий ведучий міст – 3,6 кН.

У робочому положенні, тобто коли на задній і додатковий ведучі мости МЕЗ, через перерозподільний пристрій передається частина навантаження з переднього керованого мосту розподіл зчійної ваги склав:

- на задній ведучий міст – 17,4 кН;
- на передній керований міст – 6,2 кН;
- на додатковий ведучий міст – 12,4 кН.

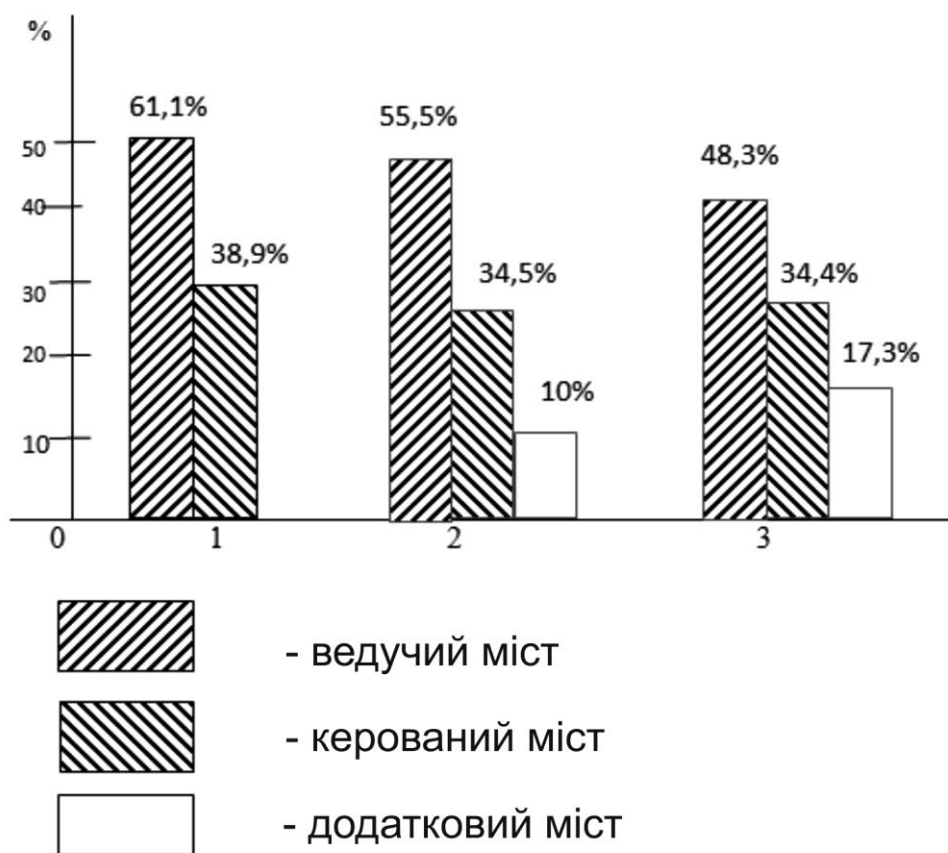
Більш наглядно розподіл силового навантаження мостами МЕЗ можна простежити за діаграмою (рис. 3.1).



1. Транспортне положення
2. Додатковий міст трактора без навантаження
3. Додатковий міст трактора під навантаженням

Рисунок 3.1. Розподіл вагового навантаження за мостами МЕЗ

Перерозподіл зчіпної ваги у відсотковому співвідношенні між мостами експериментального МЕЗ представлено на діаграмі (рис. 3.2).



1. Транспортне положення
2. Додатковий міст трактора без навантаження
3. Додатковий міст трактора під навантаженням

Рисунок 3.2. Розподіл навантаження між мостами МЕЗ у відсотковому співвідношенні

Так у транспортному положенні (додатковий ведучий міст знаходиться у піднятому стані) розподіл зчіпної ваги по осях МЕЗ у відсотковому співвідношенні склав такі значення:

- на задній ведучий міст – 61,1%;
- на передній керований міст – 38,9%.

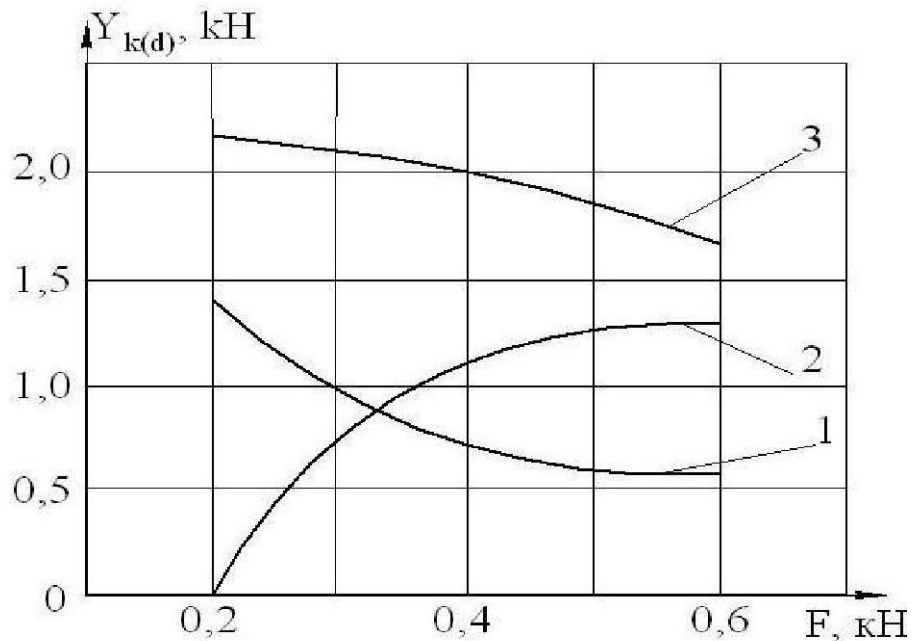
У положенні, коли додатковий ведучий міст знаходиться в опущеному стані (вертикальний гідроциліндр не впливає на додатковий ведучий міст) розподіл зчіпної ваги у процентному співвідношенні склав:

- на задній ведучий міст – 55,5%;
- на передній керований міст – 34,5%;
- на додатковий ведучий міст – 10%.

У робочому положенні, тобто коли на задній і додатковий ведучий мости МЕЗ, через перерозподільний пристрій передається частина навантаження з переднього моста, розподіл зчіпної ваги становив:

- на задній ведучий міст – 48,3%;
- на передній керований міст – 17,3%;
- на додатковий ведучий міст – 34,4%.

Як показали дослідження, залежно від тиску, створюваного в гідроциліндрах, пов'язаних з передавальним пристроєм, відбувається і перерозподіл зчіпної ваги (рис. 3.3).



1 – додатковий ведучий міст; 2 – керований міст; 3 – задній ведучий міст

Рисунок 3.3. Зміна зчіпної ваги за мостами МЕЗ

При аналізі експериментально одержаних результатів можна зробити висновок, що використання пристрою для перерозподілу зчіпної ваги дозволяє підвищити тягово-зчіпні властивості МЕЗ за рахунок перерозподілу зчіпної ваги між його мостами. Більш рівномірний розподіл навантаження, що

припадає на колеса МЕЗ, дозволить знизити техногенний вплив на ґрунт, а також знизити величину буксування МЕЗ.

3.2 Результати порівняльних господарських випробувань МЕЗ класу 1,4 з додатковим ведучим мостом на транспортних перевезеннях

З метою визначення ефективності використання МЕЗ класу 1,4 с додатковим ведучим мостом та пристроєм для перерозподілу зчіпної ваги на транспортних роботах в умовах недостатніх тягово-зчіпних властивостей були проведені порівняльні господарські випробування в умови експлуатації. Для порівняння брався серійний МЕЗ класу 1,4 з колісною формулою 4К2 та причіп 2ПТС-4, що зазвичай використовується у сільськогосподарському виробництві.

Порівняння було виконано методом хронометражних спостережень роботою тракторно-транспортних агрегатів. Основна мета хронометражних спостережень – визначення основних параметрів, що характеризують ефективність їх роботи:

W_p – продуктивність за годину часу руху, т · км/год.;

W_z – продуктивність за годину робочого часу, т · км/год.;

$V_{сер}$ – середня швидкість руху, м / с.

Розрахунок основних параметрів, що характеризують ефективність роботи транспортних агрегатів здійснено на підставі загальноприйнятих методик [31, 32].

Продуктивність за годину руху:

$$W_p = \frac{Q}{T_{рх}} = \frac{Q}{T_p + T_n}, \quad (3.1)$$

де Q – обсяг перевезеного вантажу, т;

$T_{рх}$ – час руху, год.;

T_p – час руху без урахування поворотів, год.;

T_n – час поворотів, год.

Середня швидкість руху по полю:

$$V_{сер} = \frac{S_m}{T_p}, \quad (3.2)$$

де S_m – довжина поля, м.

Продуктивність за годину чистого робочого часу:

$$W_z = \frac{Q}{T_p}. \quad (3.3)$$

Витрата палива на одиницю перевезеного вантажу:

$$G_y = \frac{M_{нал}}{Q}, \quad (3.4)$$

де $M_{нал}$ – кількість палива, витраченого на перевезення вантажу, кг.

Коефіцієнт використання часу руху:

$$K_p = \frac{T_p}{T_p + T_n} = \frac{T_p}{T_{px}}. \quad (3.5)$$

У таблиці 3.2 наведено порівняльні господарські випробування МЕЗ класу 1,4 з колісною формулою 4К2 та експериментального з додатковим ведучим мостом та причепом 2ПТС-4.

Таблиця 3.2 – Порівняльні господарські випробування МЕЗ МТЗ-80 та причепа 2ПТС-4 на транспортних роботах

Показники	МТЗ-80 + 2ПТС-4	
	Серійний	Експериментальний (МЕЗ з додатковим ведучим мостом)
1	2	3
Довжина поля, м	920	920
Довжина повороту, м	65	65

Вантажопідйомність теоретична, т	4	4
----------------------------------	---	---

Закінчення таблиці 3.2

1	2	3
Вантажопідйомність фактична, т	3,7	3,7
Швидкість руху по прямій, м/с	1,3	1,7
Швидкість руху на поворотах, м/с	1,2	1,5
Продуктивність за годину часу руху, т·км	16,7	21,8
Продуктивність у годину чистого робочого часу, т.км	18,4	22,1
Коефіцієнт використання часу руху	0,93	0,88

Отримані результати показують, що використання у складі ТТА МЕЗ з колісною формулою 4К2 та додатковим ведучим мостом дозволило підвищити продуктивність у годину часу руху на 30,5 %, і в годину чистого робочого часу на 20,1% у порівнянні з серійним МЕЗ та причепом 2ПТС-4.

3.3 Результати порівняльних господарських випробувань МЕЗ з додатковим ведучим мостом на сільськогосподарських роботах

Ефективність використання нової техніки, найчастіше оцінюється її продуктивністю. З метою визначення ефективності використання МЕЗ класу 1,4 з додатковим ведучим мостом та змінною зчіпною вагою було проведено порівняльні господарські випробування. У якості порівняння серійний варіант МЕЗ класу 1,4 з колісною формулою 4К2. Порівняння було виконано методом суцільного хронометражу всього робочого дня.

Основною метою проведення хронометражних господарських випробувань є знаходження параметрів, що характеризують ефективність роботи МТА. До них відносяться:

- продуктивність за годину часу руху;

- продуктивність у годину чистого робочого дня;
- середня швидкість руху;
- витрата палива на одиницю обробленої площі.

Обробка отриманих даних проводилася на підставі загальноприйнятих методик [33].

Продуктивність за годину чистого робочого часу:

$$W_z = \frac{F}{T_p}, \quad (3.6)$$

- де T_p – час руху на гонах, год.;
- F – оброблена площа, га.

Продуктивність за годину часу руху:

$$W_p = \frac{F}{T_{px}}, \quad (3.7)$$

- де T_{px} – час руху, год.;

Середня швидкість руху на гонах:

$$V_{сер} = \frac{S_z \cdot n_z}{T_p}, \quad (3.8)$$

- де S_z – довжина робочого гону, м;
- n_z – кількість гонів.

Витрата палива на одиницю обробленої площі:

$$\sigma_y = \frac{G}{F}, \quad (3.9)$$

- де G – кількість палива, витраченого на обробку площі, л.

Коефіцієнт використання часу руху:

$$K_p = \frac{T_p}{T_p + T_n} = \frac{T_p}{T_\partial}, \quad (3.10)$$

де T_{∂} – загальний час зміни, год.

Порівняльні господарські випробування МЕЗ класу 1,4 були проведено на таких сільськогосподарських операціях, як суцільна культивуація, прикочування, боронування. Отримані дані наведені в таблиці 3.3-3.5

Таблиця 3.3 – Результати порівняльних господарських випробувань на боронування

Показники		Склад МТА (МТЗ-80+БЗСС-1.0 (15 шт.))	
		Серійний	Експериментальний
Довжина гону, м		920	920
Ширина захвату, м	конструктивна	15,00	15,00
	робоча	14,91	14,92
Швидкість руху, м/с		2,52	3,16
Продуктивність, га/год.	за годину часу руху	6,29	7,87
	за годину основного робочого часу	6,57	8,14
Коефіцієнт використання часу руху		0,88	0,86
Коефіцієнт використання часу зміни		0,84	0,80
Витрата палива на одиницю обробленої площі, кг/га		1,58	1,38

Таблиця 3.4 – Результати порівняльних господарських випробувань на прикочуванні

Показники	Склад (МТЗ-80+3ККШ-6 (2 шт.))	
	Серійний	Експериментальний
1	2	3
Довжина гону, м	914	914

Закінчення таблиці 3.4

1		2	3
Швидкість руху, м/с		2,46	3,11
Продуктивність, га/год.	за годину часу руху	4,33	5,47
	за годину основного робочого часу	4,70	5,94
Коефіцієнт використання часу руху		0,87	0,85
Коефіцієнт використання часу зміни		0,85	0,81
Витрата палива на одиницю обробленої площі, кг/га		1,75	1,56

Таблиця 3.5 – Результати порівняльних господарських випробувань на суцільній культивуванні

Показники		Склад МТА (МТЗ-80+КПС-4)	
		Серійний	Експериментальний
Довжина гону, м		930	930
Ширина захвату, м	конструктивна	4,00	4,00
	робоча	3,98	3,98
Швидкість руху, м/с		2,30	2,94
Продуктивність, га/год.	за годину часу руху	1,71	2,17
	за годину основного робочого часу	1,80	2,29
Коефіцієнт використання часу руху		0,85	0,83
Коефіцієнт використання часу зміни		0,83	0,85
Витрата палива на одиницю обробленої площі, кг/га		4,56	4,21

Аналіз таблиці 3.4 показує, що використання МЕЗ МТЗ-80 з додатковим ведучим мостом та пристроєм для перерозподілу зчіпної ваги на прикочуванні дозволило підвищити продуктивність за годину основного робочого часу на

23,8% та знизити витрату палива на одиницю обробленої площі на 14,4% порівняно з МЕЗ МТЗ-80, що працює у серійному варіанті. Аналогічні результати отримані при суцільній культивуації та боронуванні. Так, при суцільній культивуації збільшення продуктивності за годину основного часу у МЕЗ з додатковим ведучим мостом становило 27,2%, і при цьому зниження витрати пального на одиницю обробленої площі становило 12,1%.

Використання МЕЗ МТЗ-80 з додатковим мостом під час боронування дозволило підвищити продуктивність за годину основного робочого часу на 27,1% та знизити витрати пального на одиницю обробленої площі на 8,3%.

Результати порівняльних господарських випробувань показали, що використання МЕЗ класу 1,4 з додатковим ведучим мостом та пристроєм для перерозподілу зчіпної ваги дозволило підвищити продуктивність за годину основного робочого часу та знизити витрату палива на одиницю обробленої площі порівняно із серійним МЕЗ на прикочуванні, суцільній культивуації та боронуванні.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що основні ранньовесняні сільськогосподарські роботи здійснюються в період, коли ґрунт має слабку несучу здатність за наявності твердого підстилаючого шару у вигляді мерзлоти. У зимовий період використання колісних МЕЗ на транспортних роботах при внутрішньогосподарські перевезення обмежується наявністю глибокого снігового покриву та ожеледиці.

2. Дано методологічне обґрунтування підвищення тягово-зчіпних властивостей колісних енергетичних засобів за рахунок перерозподілу зчіпної ваги між колісними рушіями МЕЗ, сільськогосподарської машини та причепа. Розроблено алгоритм оцінки, вибору та використання пристроїв, що використовуються для перерозподілу зчіпної ваги.

3. Розроблено економіко-математична модель оцінки ефективності використання колісних енергетичних засобів у технології обробітку сільськогосподарських культур на транспортних та польових роботах при використанні пристроїв для перерозподілу зчіпної ваги.

4. Встановлено вплив збільшення опорної поверхні колісних енергетичних засобів за рахунок встановлення додаткового мосту на експлуатаційні характеристики. Використання МЕЗ із додатковим ведучим мостом і змінною зчіпною вагою підвищує продуктивність за годину основного робочого часу на прикочування на 21,3 %, на культивуванні 18,2 % та боронуванні 24,1 % та знижує витрату палива на одиницю обробленої площі відповідно на 18,4 %, 12,1 % та 8,3 % порівняно із серійним.

5. Використання на транспортних роботах колісного МЕЗ формули 4К2 з додатковим ведучим мостом та причепа 2ПТС-4 дозволяє підвищити робочу швидкість руху на 25-30%, а продуктивність на 27-29% порівняно із серійним транспортним агрегатом.

6. Теоретично обґрунтовано та експериментально перевірено, що використання пристроїв для перерозподілу зчіпної ваги дозволяє

перерозподіляти зчіпну вагу між колесами на 20-25 %, що дає можливість знизити величину буксування на 18-24 % та 17-25 %, підвищити продуктивність сільськогосподарського агрегату на 20-26 % та 18-23 % на польових та транспортних роботах відповідно. Порівняльні господарські випробування показали, що перерозподіл зчіпної ваги дозволяє підвищити продуктивність МТА та ТТА та знизити витрату палива на в порівнянні з серійним агрегатом на сільськогосподарських та транспортні роботи. Так при використанні пристрою з гідроланцюговим регулятором зчіпної ваги та пристрої коригування зчіпної ваги продуктивність на транспортних роботах збільшилася на 18,6-25,7 % порівняно із серійним ТТА. При використанні гідроланцюгового регулятора зчіпної ваги з МЕС класу 1,4 на боронуванні, прикочуванні та культивуванні дозволило підвищити продуктивність відповідно на 14,5 %, 16,1 % та 15,25 % в порівнянні з серійним МТА.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дмитрієв І.А. Транспортне підприємництво: навч. посіб. / І.А. Дмитрієв, Я.С. Левченко – Х.: ФОП Бровін О.В., 2018. - 308 с.
2. Білявський Г.О. Основи екології: теорія та практикум: навч. посіб. / Г.О. Білявський, Л.І. Бутченко. – К.: Лібра, 2006. – 368 с.
3. Головчук А.Ф. Експлуатація та ремонт сільськогосподарської техніки: Підручник: У 3 кн. / А.Ф. Головчук, В.Ф. Орлов, О.П. Строков; За ред. А.Ф. Головчука. — К.: Грамота, 2003 - Кн. 1: Трактори. – 336 с.
4. Водяник І.І. Експлуатаційні властивості тракторів і автомобілів - К.: Урожай, 1994. - 224с.
5. Ільченко В.Ю., Карасьов П.І., Лімонт А.С. та ін. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві / За ред. В.Ю. Ільченка. - К.: Урожай, 1993. - 288 с.
6. Козаченко О.В. Технічна експлуатація сільськогосподарської техніки / О.В. Козаченко. Харків. Торнадо, 2000. 192 с.
7. Козаченко О.В. Практикум з технічної експлуатації сільськогосподарської техніки : Монографія / Козаченко О. В., Сичов І. П. та ін. ; за ред. О.В. Козаченка. Харків. Торнадо, 2001. 374 с.
8. Brouwer, Floor M., van Ittersum, Martin (Eds.). Environmental and Agricultural Modelling: Integrated Approaches for Policy Impact Assessment, 2010. – 322 p.
9. Грушецький С.М. Технологія технічного обслуговування машин : навч.-мет. компл. для студентів інжен. спец. зі спеціалізації «Технічний сервіс» на осв.-кваліф. рівні «Спеціаліст», «Магістр»] / Грушецький С.М. Кам'янець-Подільський. ФОП Сисин О.В., 2012. 400 с.
10. Лімонт А.С. Теоретичні основи забезпечення працездатності машин : Навч. посіб. / А.С. Лімонт. Держ. агроєколог. ун – т. Житомир, 2008. 420 с.
11. Болтянська Н.І. Зміни техніко-експлуатаційних показників МЕЗ під впливом на них надійності. Вісник ХНТУСГ імені П. Василенка. 2009. Вип.89.

С. 106–111.

12. Саєнко А. В., Руденко В. А. Зменшення буксування рушіїв трактора встановленням баласту // Вісник Сумського національного аграрного університету. 2013. №. 10. С. 87-90.

13. Білоконь Я.Ю. Трактори і автомобілі: Підр. для вищ. агр. закл. освіти II-IV рівнів акредитації за напрямом "Агрономія" / Я.Ю. Білоконь, А.І. Окоча. – К.: Урожай, 2002. – 324с.

14. Головчук А.Ф. Експлуатація та ремонт сільськогосподарської техніки: Підручник: У 3 кн. / А.Ф. Головчук, В.Ф. Орлов, О.П. Строков; за ред. А.Ф. Головчука. – К.: Грамота, 2003 – Кн. 1: Трактори. – 336 с.

15. Антощенков Р. В. Динаміка та енергетика руху багатоелементних машинно-тракторних агрегатів : монографія. Харків : ХНТУСГ, «Міськдрук», 2017. 244 с.

16. Білоконь Я. Ю., Крижанівський П.І. Керування тракторами і самохідними комбайнами К.: Урожай, 1990. – 152 с.

17. Планування діяльності автотранспортного підприємства : підручник / М. О. Турченко, М. Д. Швець, О. Г. Кірічок, М. Є. Кристопчук. – 2-ге вид., переробл. і доповн. – Рівне : НУВГП, 2017. – 367 с.

18. Панченко А.І., Волошина А.А. Сучасні трактори сільськогосподарського призначення. Закордонні трактори країн: посібник. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2019. – 600 с.

19. Панченко А.І., Волошина А.А. Сучасні трактори сільськогосподарського призначення. Трактори країн СНД: посібник. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2018. – 176 с.

20. Надикто В.Т., Крижачківський М.Л., Кюрчев В.М., Абдула С.Л. Нові мобільні енергетичні засоби України. Теоретичні основи використання в землеробстві: навчальний посібник. – Мелітополь, 2005. – 337 с.

21. Автотракторний транспорт. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напрямку: "Машинобудування" всіх форм навчання / Укл.: С.О. Карпушин – Кіровоград: КНТУ, 2016. – 96с

22. Ребров О.Ю. Вибір параметрів шин сільськогосподарських тракторів: монографія / О.Ю. Ребров. – Харків. Видавець: О.А. Мірошніченко, 2021. – 304 с.
23. Спеціалізований рухомий склад на автомобільному транспорті: навчальний посібник / В. М. Краснокутський, В. Б. Самородов, С. Г. Селевич. – Харків : Друкарня Мадрид, 2020. – 240 с.
24. Ребров О.Ю. Теоретичне обґрунтування основних параметрів колісних сільськогосподарських тракторів / О.Ю. Ребров // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – №8. -2017. – С. 243-254.
25. Ребров О.Ю. Вплив плавності ходу колісних тракторів на навантаженість трансмісії / Б.І. Кальченко, О.Ю. Ребров, А.П. Кожушко // Автомобільний транспорт, вип. 41, 2017, – С. 30-37.
26. Білоконь Я.Ю., Окоча А.І. Нова мобільна сільськогосподарська техніка. – Ніжин, 1999. – 264 с.
27. Мамонтов А.Г., Кожушко А.П., Ребров О.Ю. Формування математичної моделі динамічної навантаженості ходової системи колісного трактора з напівпричіпним агрегатом. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». 2019, № 1. С. 29-41.
28. Подригало М.А., Полянський О.С., Дубінін Е.О., Молодан А.О., Задорожня В.В., Холодов М.П., Хворост О. І. Керованість та стійкість тракторів і тракторних поїздів. Монографія. Х.: ХНТУСГ імені Петра Василенка, 2018. 279 с.
29. Плавність руху як складова динаміки трактора: монографія / Б.І. Кальченко, О.Ю. Ребров, А.П. Кожушко, А.Г. Мамонтов. – Х.: Вид_во НТУ «ХПІ», 2018. – 164 с.
30. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин: підручник. К.: Наукова думка, 2002. – 660 с.
31. Мельник Л.Г. Економіка енергетики : підручник / За ред. Л.Г.Мельника, І.Н.Сотник. – Суми: Університетська книга, 2015. – 378 с

32. Погорілій Л.В. Випробування сільськогосподарської техніки: науково – методичні засади оцінки та прогнозування надійності сільськогосподарських машин / Л.В. Погорілій, В.Я. Анілович. Київ Фенікс, 2004. 208 с.

33. ДСТУ 8424:2015 Сільськогосподарська техніка. Машини спеціалізовані й універсальні та машинні комплекси. Методи експлуатаційно-технологічного оцінювання на етапі випробувань.