УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Допущено до захисту
“___” _____2025 р.
Завідувач кафедри к.т.н., доцент

_____ Войтік А.В.

Кваліфікаційна робота (дипломний проект)
Перший (бакалаврський)

Тема проекту: **«Підвищення ефективності використання мобільних енергетичних засобів шляхом оптимізації зчіпної ваги для покращення тягово-зчіпних властивостей і зниження техногенної дії на грунт.»**

Виконав: студент 4 курсу,
групи 41 з-ім
Спеціальність 208
«Агроінженерія»
Говорун А. В.
(прізвище та ініціали)

Керівник: Головатюк А.А.
(прізвище та ініціали)

Рецензент: Катерина КОСТЕЦЬКА
(прізвище та ініціали)

м. Умань - 2025 рік

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА

інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Освітня програма Бакалавр
Спеціальність 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Войтік А.В..
«____» _____**2025 р.**

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ)

студенту Говоруну Андрію Віталійовичу

Тема роботи «Підвищення ефективності використання мобільних енергетичних засобів шляхом оптимізації зчіпної ваги для покращення тягово-зчіпних властивостей і зниження техногенної дії на грунт.»

керівник проекту: *Головатюк Анатолій Анатолійович, к. с-г. н.*
затверджено наказом УНУ 01-06/95 від 5 травня 2025 р.

2. Строк подання студентом пректу *«__» _____ 20____ р.*

3. Вихідні дані до проекту літературні джерела, технологічні та технічні рішення, методичні вказівки, методики.

4. Перелік питань, які потрібно розробити: *Вступ. 1. Аналіз стану питання за темою дипломного проекту. 2. Теоретичні та/або експериментальні дослідження за темою дипломного проекту. 3. Охорона праці. 4 . Обґрунтування досягнутих результатів. Загальні висновки. Список використаних джерел.*

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е. В.		

6. Дата видачі завдання – «____» _____ 2025_ р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел	17.02.25	
2.	Розділ 1	31.02.25	
3.	Розділ 2	14.03.25	
4.	Розділ 3	28.03.25	
5.	Розділ 4	12.04.25	
6.	Виконання ілюстративної частини роботи	19.04.25	
7.	Представлення роботи керівнику на перевірку	30.04.25	

Студент _____ Говорун А. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Головатюк А.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП…….. 5
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ…….. 6
1.1 Ефективність використання машинно-тракторного парку значною мірою масштабом природно-кліматичних та природно-виробничих умов регіону експлуатації. …….. 6
1.2 Вплив мобільних енергетичних засобів на обґрунт…….. 7
2. РОЗРАХУНОК ДОСЛІДЖЕНЬ…….. 18
2.1 Теоретичні дослідження щодо підвищення тягово-зчіпних властивостей мобільних енергетичних засобів та вплив перерозподілу зчіпної ваги на подовжню стійкість машинно-тракторного агрегату…… 18
2.2. Підвищення тягово-зчіпних властивостей мобільного енергетичного засобу при використанні прижимно-розвантажувального механізму……... 22
3. ОХОРОНА ПРАЦІ 26
3.1 Безпека праці під час збирання зернових культур……. 26
4. ОБГРУНТУВАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ…….. 28
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ…….. 32
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА…….. 33

ВСТУП

Останніми роками підвищення ефективності використання механізованих засобів в агропромисловому комплексі, зокрема колісних мобільних енергетичних засобів (МТА), дедалі частіше застосовуються багатоопераційні комбіновані машини з високою продуктивністю. Це сприяє покращенню ефективності роботи та зниженню техногенного впливу на підставі скорочення рахунку.

Водночас експлуатація сучасної сільськогосподарської техніки потребує використання МТА з високими тягово-зчіпними характеристиками. Проте, незважаючи на переваги, колісні МТА мають обмежені тягово-зчіпні властивості, особливо на підставі низької несучої здатності. Крім того, комбіновані сільськогосподарські машини відрізняються значною масою порівняно зі звичайними, що може обмежувати їх використання через недостатню подовжену стійкість окремих колісних МТА під час технологічних розворотів і

Для усунення цих недоліків у реальних умовах використання збільшують завантаження на передній керований міст МТА шляхом встановлення додаткових завантажень. Однак це призводить до посилення техногенного впливу машинно-тракторного агрегату.

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.

1.1 Ефективність використання машинно-тракторного парку значною мірою масштабом природно-кліматичних та природно-виробничих умов регіону експлуатації.

До основних чинників, які впливають на цей показник, належать: технологія вирощування сільськогосподарських культур, механічний склад, щільність, твердість і вологість обґрунтованості, кліматичні умови, розміри й рельєф полів тощо.

На рисунках 1.1 та 1.2 [7] показано кількість тракторів на 1000 га ріллі та рівень навантаження на один трактор. Аналіз цих даних про виробництво, що за останнє десятиліття кількість тракторів на 1000 га скоротилася з 4,2 у 2010 році до 0,5 у 2020 році. Водночас навантаження на один трактор зросло з 238 га до 834 га. Подібна тенденція роботи і щодо комбайнів [2, 7]. Це зумовлює необхідність пошуку шляхів підвищення ефективності використання наявної сили.

Зональна система створення машин виробництва колісних і гусеничних тракторів у пропорції 40:60. Це пояснюється низькою несучою здатністю під час виконання основних агротехнічних операцій. У таких умовах колісні трактори залишають глибокі колії, що ускладнює подальшу обробку грунту.

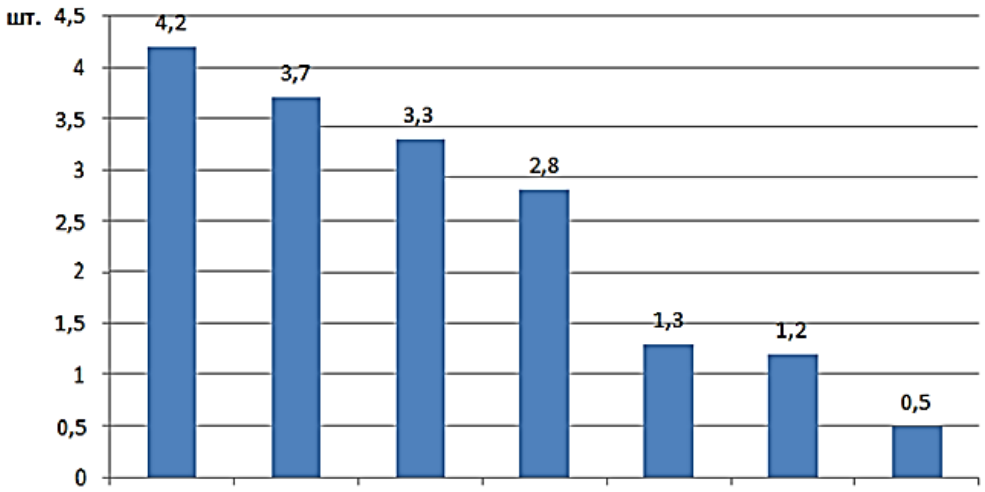


Рисунок 1.1 - Кількість тракторів що доводяться на 1000 га [7]

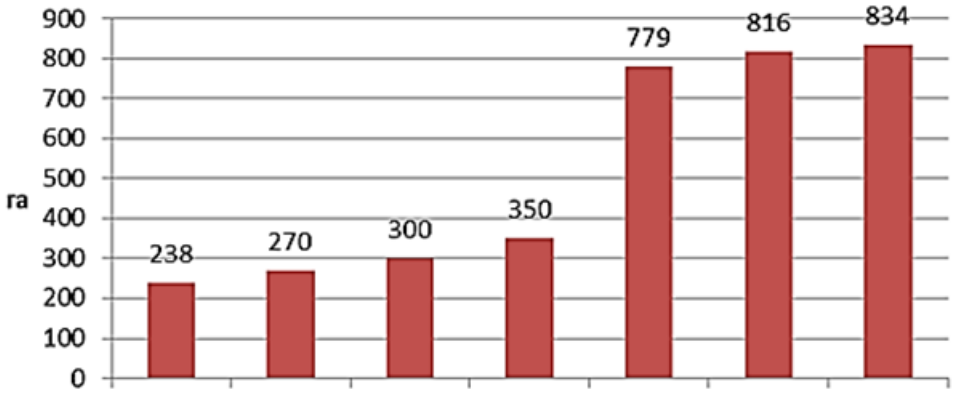


Рисунок 1.2 - Навантаження ріллі на один трактор [7]

Співвідношення колісних і гусеничних тракторів на 2015 рік складає відповідно 75 25, рисунок 1.3). Процентний склад тракторів класу 1,4 від загальної кількості складає 40,5, а від колісних- 62,4.

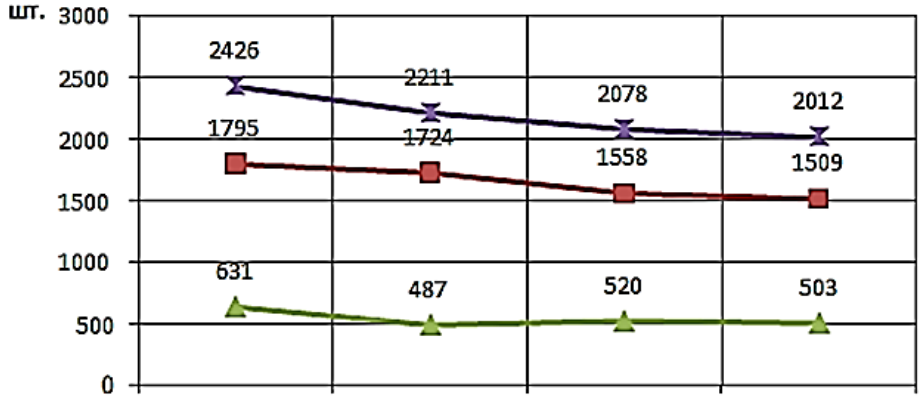


Рисунок 1.3 - Співвідношення колісних і гусеничних тракторів [7]

– колісні; –гусеничні; –всього;

Варто зазначити, що селянсько-фермерські господарства забезпечуються до третини валового збору деяких культур, зокрема їх. Основним видом енергетичних засобів у цих господарствах є трактори тягового класу 1,4 з колісною формулою 4К2. У зв'язку з цим перед агровиробниками постає завдання розширення функціональних можливостей наявної техніки. Одним із ключових напрямків розвитку цієї проблеми є покращення тягово-зчіпних характеристик машини за рахунок оптимального використання зчіпної ваги, що, своєю чергою, зменшує техногенний вплив на підставі.

1.2 Вплив мобільних енергетичних засобів на обґрунт

Сучасні технології заробітку сільськогосподарських культур передбачають багаторазові проходи мобільних енергетичних засобів (МЕЗ) по

полю. Ходові системи цих машин чинять значний тиск на підставі того, що причина до його ущільнення, зниження структури, зміни складу, пористості та збільшення об'ємної маси [2, 3,4,15,16].

Зниження техногенного впливу на підставі стає дедалі актуальнішим через використання більш енергонасиченої, швидкісної та продуктивної техніки, яка має значну масу. Вплив ходових систем на ґрунт відображено в схемі «рушій – ґрунт – рослина», де щільність ґрунту є ключовим параметром, що визначає водний, повітряний і тепловий режими, а також умови росту та розвитку рослин [18].

Оптимальна щільність.

- для суглинних і глинистих підстав – 1,0-1,3 г/см³,
- для легкосуглинних – 1,1-1,4 г/см³.

Зміна щільності на 0,1-0,3 г/см³ від оптимального значення може спричинити зниження врожайності до 40% [17]. Наприклад, ущільнення ґрунту тракторами К-700, ДТ-75 та МТЗ-80 потенційно зменшується на 26%, 18% і 12,5% відповідно [8,12].

Одним із негативних наслідків ущільнення є підвищення міцності підстави у слідах проходу техніки, що зумовлює нерівномірний питомий опір під час подальшої обробки, підвищуючи енерговитрати [20,10,22,28]. Дослідження показують, що ущільнення обґрунтовано інтенсивним рухом важкої техніки може спричинити значне зниження врожайності, а річні втрати від цього сягають 1,8 мільярда доларів [5, 14,16].

Для зменшення ущільнюючої дії пропонуємо:

- зменшення кількості п
- використання комбінованих сільськогосподарських агрегатів,
- розробку нових конструкцій машин і руш
- удосконалення ходових систем існуючої техніки [2, 5, 9].

Експериментальні дослідження впливу тракторів на фізико-механічні властивості обґрунтовують та врожайність сільськогосподарських культур представлені в роботах [4, 7, 8]. Аналіз конструктивних параметрів колісних

рушіїв засвідчив, що більші шини знижують ущільнення. Дослідження також довели, що до 80% площі поля піддається ущільненню, особливо на поворотних смугах, які займають до 20% загальної площі поля [8, 11,12].

Комплексний підхід до зниження техногенного впливу на підставі використання оптимального тиску в шинах, спеціальної схеми руху та прогнозування ущільнюючої дії за допомогою комп'ютерного моделювання [7,11]. Це дозволяє оцінити ефективність заходів зі зменшенням негативного впливу техніки на підставі і зберегти його родючість.

На основі проведених досліджень А.М. Кононов [8, 11] зазначає, що зі збільшенням нормального тиску на підставі пояснюється інтенсивніше руйнування агротехнічних цінних обґрунтованих агрегатів розміром 1-10 мм. Одночасно збільшує вміст дрібних часток менше 0,5 мм, що пропорційно посилюється при підвищенні тиску. Після проходу гусениці та коліс трактора (8,5-15,5 коліс) твердість обґрунтована в слідах ширини на глибині 2 см збільшується в 5,5 рази, а на 5 см – в 2,5 рази [8, 11, 12].

Дослідження щодо втрат урожаю та їх основних причин внаслідок ущільнення грунту рухомими системами машинно-тракторних агрегатів виникає в роботі [3, 5]. Встановлено, що механічний вплив ходових систем тракторів змінює щільність, пористість і структуру обґрунтовано, що вплив впливає на врожайність. такі зміни спостерігаються як у зоні проходу рушія, так і за її межами.

У роботі пропонується використовувати коефіцієнти впливу руйнівного агрегату на основі критеріїв оптимізації його параметрів. Для зменшення техногенного впливу автори рекомендують застосовувати широкозахоплюючі агрегати з єдиною шириною колії для вс.

Дослідження впливу класу тяги трактора на енерговитрати через ущільнення обґрунтовано представлені в роботі [1, 4]. Визначено рівень енергетичних втрат від переущільнення залежно від класу тяги техніки, а також подано номограму для оцінки втрат урожаю, пов'язаних із ущільненням.

У роботах І.В. Бумбара, А.М. Ємельянова, В.Н. Рябченка та інших [6, 12] вивчався техногенний вплив гусеничних рушіїв з різною формою опорної поверхні. Встановлено, що окрім руйнування структури ґрунту, формується глибока колія, що ускладнюється.

Питання ущільнення обґрунтовано під впливом ходових систем тракторів на прояві роботи [1,5, 10]. Доведено, що зі збільшенням навантаження і кількості проходів ущільнюється верхній шар грунту, зменшується його пористість і погіршуються умови для розвитку рослин. Запропоновано методи мінімізації негативних наслідків переущільнення.

На основі досліджень А.С. Анікіна, С.Н. Міркіна [8] встановлено, що кратність проходів рушіїв є значним фактором ущільнення підстави. Одним із конструктивних рішень для зменшення кількості проходів є розміщення передніх і задніх коліс трактора на різну колію. Аналіз даних щодо трактора К-701 підтверджує ефективність цього підходу: приріст щільності грунту в порівнянні з серійною ходовою системою знижується на 35-38%, що еквівалентно використанню здвоєних коліс [8].

Збільшення кількості проходів трактора К-701 за рахунок ущільнення грунту в 2,5-3 рази глибше, ніж орний шар [9]. Дослідження тракторів К-700 і Т-150К показали, що їх пошкодження спричиняють ущільнення грунту на 0,15-0,20 г/см³ порівняно з ко

За результатами багатьох досліджень В.А. Русанов розташував трактори за рівнем впливу на підставі такої композиції: Т-70С < Т-74 < ЮМЗ-6 < Т-150 < ДТ-175С < Т-150К < К-700 < ДТ-75 < МТЗ-80/82.

Е.І. Бердов вивчав вплив обгрунтовано-кліматичних умов і параметрів рушія на опір руху гусеничних машин. Встановлено зв'язок між опором пересування, глибиною занурення обґрунтованості та структурними характеристиками обґрунтування.

Теоретичні оцінки дії колісних тракторів на підставі наведено в роботі [11]. Аналіз отриманих даних у весняний та літньо-осінній періоди показав, що

більшість тракторів не можуть ефективно працювати за високої вологості обґрунтування, намагаючись перевищити допустимі нормативи тиску.

Для зниження питомого тиску передбачається встановлення здвоєних коліс [11]. Використання математичного моделювання для розрахунку ущільнювальної дії колісних тракторів відмічено в роботі [7]. Розроблено методику, яка дозволяє контролювати рівень ущільнення залежно від глибини, швидкість руху МТА, кутову швидкість колеса, час дії навантаження та тиску в шині.

Результати досліджень показують, що ущільнення обґрунтування суттєво залежить від його геологічних характеристик, а оптимізація параметрів трактора дозволяє мінімізувати негативний вплив. Наприклад, при ущільненні до 0,109 г/см³ глибина колії зменшилася на 7,64%.

У роботі В.П. Лапика [9] вважають можливість збереження родового шару шляхом застосування еластичних елементів у ходовій системі гусеничних тракторів, що знижують рівень ущільнення та сприяють покращенню структури обґрунтування.

З аналізу досліджень можна зробити висновок, що між енергетичними засобами, природно-кліматичними умовами, ґрунтом і рослинами існує взаємозв'язок. Техногенний вплив на підставу до зниження врожайності, тому питання мінімізації цього впливу.

Для колісних тракторів доцільно використовувати пристрої коригування зчіпної ваги, що втратило б короткочасно її збільшити. Враховуючи, що сільськогосподарські машини працюють у змішаних грунтово-кліматичних умовах, необхідно забезпечити їхню високу прохідність та адаптацію до бездоріжжя.

Прохідність енергетичних засобів забезпечує можливість їхньої роботи на підставах з низькою несучою здатністю. Однією з основних причин недостатньої тягово-зчіпної ефективності є слабке зчеплення коліс із обґрунтуванням того, що порушення буксування та рух.

Для захисту тракторів у складних умовах необхідно підтримувати їх тягово-зчіпні характеристики на рівнях, отриманих у нормальних умовах експлуатації.

Методи покращення тягово-зчіпних властивостей колісних машинно-тракторних агрегатів (МТА) умовно виділяються на три підвищення: зчіпної групи ваги, підвищення коефіцієнта зчеплення та зниження нормального тиску. Розглянемо шляхи покращення тягово-зчіпних властивостей шляхом збільшення зчіпної ваги.

Збільшення зчіпної ваги можна досягти за допомогою гідробаласту, застосування збільшувачів зчіпної ваги, збільшення кількості ведучих коліс, блокування диференціалу, використання причіпного моста та перерозподілу ваги між мостами енергетичного цілості.

При експлуатації МТА на пневматичних шинах у складних умовах ефективним є метод баластування, що дозволяє підвищити тягові характеристики тракторів. У якості баласту приймають воду, металеві вантажі або незамерзаючий розчин, який заливають у шини, що дає збільшення зусиль тяги на 15–20% для збільшення зчіпної рідини.

Проте збільшення маси енергетичного стресу спричиняє зростання нормального тиску рушіїв на підставі того, що можна призвести до значного його ущільнення та зниження прохідності, особливо під час весняних польових робіт. Дослідження, наведені в роботі [88], спрямовані на оптимальне використання баласту, а також методики комп’ютерного тягового розрахунку трактора з урахуванням тягово-енергетики.

У дослідженнях А.М. Плаксина, А.П. Зирянова, Г.П. Ішимова [14] встановлено, що збільшення маси баласту покращує тягово-зчіпні властивості трактора. Однак деякі навантаження можуть призвести до перенавантажень.

Регулювання зчіпної ваги МТА шляхом зміни баласту залежно від виконаних операцій є перспективним напрямком. Це дозволяє зменшити втрату потужності на перекачування та підвищити тяговий ККД.

Ще одним способом підвищення тягово-зчіпних властивостей тракторів із заднім приводом є використання додаткових навантажувачів. Вони забезпечують перерозподіл ваги з передніх коліс на ведучі задні, що забезпечує ефективність роботи. Дослідження А.Н. Баранського показали, що приріст навантаження на ведучі колеса може досягати 24–46%, тоді як розвантаження передніх коліс становить 9–22%.

Застосування гідродовантажувачів ведучих коліс зменшує буксування та покращує проходження обґрунтування за рахунок зниження опору знаряддя. Дослідження Б. Азізова стосуються правильного вибору параметрів навантаження трактора та їх вплив на динаміку роботи машини.

Збільшення кількості ведучих коліс (компонування 4К4) дозволяє ефективніше використовувати вагу трактора, тоді як при компонуванні 4К2 для реалізації тягового потенціалу доступна лише частина ваги. Використання системи 4К4 також знижує буксування, основний момент, що передається через задні колеса

Тягові характеристики тракторів із компонуванням 4К4 залежать від типу приводу – блокованого або диференціального. Недоліком блокованого приводу є кінематична невідповідність та паразитні втрати потужності, тоді як автоматичний диференціал з блокуванням забезпечує кращу прохідність і розподіл крутного.

Вплив причіпного ведучого моста на тягово-зчіпні характеристики колісних тракторів фактично в роботі [2,7]. Використання такого моста дозволяє збільшити максимальну тягову потужність і зменшити буксування, проте спричиняє ущільнення ґрунту та підвищене колькоутворення на вологих ґрунтах.

Дослідження В.І. Худовця свідчать, що встановлення додаткового моста та перерозподіл зчіпної ваги між мостами зменшують буксування та підвищують тягові зусилля. Використання додаткового ведучого моста на слабких підставах є перспективним, хоча може виникати проблема паразитних

втрат потужності. Для її усунення А.С. Щитов пропонує обмінну муфту, яка автоматично регулює включення та вимикання додаткового ведучого моста.

У роботі Е.І. Бердова та Е.Г. Щепетова [17] зазначено, що одним з шляхів підвищення тягово-зчіпних властивостей, збільшення продуктивності та зниження витрат палива є динамічна зміна центру тиску. Збільшення продуктивності варіюється в межах 5–14%. Правильний розподіл зчіпної ваги значною мірою впливає на поперечну та подовжню стійкість енергетичних засобів [1,7,8,9,11].

Це питання детально розглядається в дослідженні [5], в якому вивчено залежність вертикальної деформації шини колісної машини від кута схилу опорної поверхні, а також встановлено взаємозв'язок поперечної стійкості з тиском повітря в шині.

Способи підвищення стійкості сільськогосподарської техніки під час виконання робіт описані в дослідженні В.В. Кисельова [7, 9].

Збільшення зчіпної ваги за рахунок її перерозподілу з передньої осі трактора на задній ведучий міст досліджено в роботах А.Б. Спиріданчука, Н.В. Спиріданчука, С.В. Щитова [3]. Перерозподіл зчіпної ваги досягнуто завдяки використанню фронтального навішування, що дозволяє зменшити буксування на 17,75%, знизити витрати палива та енерговитрати з 533,35 до 322,52 МДж/га.

Питання підвищення тягово-зчіпних властивостей проектованих та існуючих моделей колісних тракторів різних конструктивних схем розглянуті в роботі [4]. Тут запропоновані технологічні та конструкторські рішення для стабілізації режимів вантаження тракторів у складі МТА.

Дослідження, проведені Г.М. Кутьковим, А.А. Соловейчиком та М.В. Сидоровим, включають розроблену методику тягового розрахунку енергетичних засобів з урахуванням силових і потужнісних характеристик провідних осей.

Під час роботи транспортно-тракторного агрегату (ТТА), особливо при поворотах, колісні МТА не завжди можуть ефективно реалізувати свої тягово-

зчіпні властивості. Для усунення цього недоліку в роботі [2,7] запропоновано перерозподіляти зчіпну вагу між колесами трактора і причепом на поворотах.

Ефективність устаткування колісних тракторів з тягово-довантажуючими пристроями проаналізована в роботі В.П. Гребнева та А.В. Ворохобина [5,14]. Автори запропонували тягово-довантажуючий пристрій, який підвищує зчіпну вагу та тягове зусилля енергетичного засобу за рахунок збільшення зчіпної ваги.

Для підвищення тягово-зчіпних властивостей колісних МТА пропонується застосовувати спеціально розроблену конструкцію автоматичного довантажувача зчіпної ваги [5], для чого виконано розрахунки основних сил і залежностей.

У роботі Н.І. Селиванова, В.С. Кирина та Р.А. Ебеля пропонується враховувати коефіцієнт використання зчіпної ваги. Дослідження дозволили встановити залежність величини буксування від коефіцієнта використання ваги та визначити максимальні й допустимі значення тягового ККД.

Для підвищення ефективності роботи енергетичного засобу та збільшення продуктивності пропонується використання автоматизованого механічного довантажувача зчіпної ваги колісних тракторів класу 1,4 [8].

Дослідження, що стосуються перерозподілу зчіпної ваги між мостами трактора, проведено в роботах [6, 12, 13, 14, 17,18]. Отримані теоретичні залежності дозволяють визначити вплив перерозподілу зчіпної ваги на тягово-зчіпні властивості трактора за умов наявності твердого мерзлотного підстилаючого шару.

Збільшити ефективність використання колісних МТА можна шляхом автоматичного регулювання зчіпної ваги трактора, що підтверджується роботами [10, 19].

Питання довантаження задніх провідних коліс ТТА розглянуто в дослідженні В.Н. Єгорова. Перерозподіл зчіпної ваги між передніми колесами причепа та задніми ведучими колесами енергетичного засобу дозволяє

підвищити продуктивність і знизити буксування на 60%, що також зменшує витрати палива на 20%.

Дослідження підвищення тягово-зчіпних властивостей тракторно-транспортного агрегату за рахунок автоматичного гідродовантажуючого пристрою представлене в роботі [2, 7]. Тут також пропонується використати додатковий силовий зв'язок, що дозволяє збільшити довантаження задніх коліс трактора до 50%, при цьому продуктивність зростає на 8,5%, а витрати палива знижуються на 13%.

Таким чином, підвищення зчіпної ваги на провідних колесах трактора можливе шляхом створення додаткового навантаження Q на причіпний пристрій. Величина R залежить від цього навантаження, кута додатка та точки прикладення.

Дослідження, представлені в роботі [7,13], присвячені питанням розподілу зчіпної ваги по осях в залежності від питомої сили тяги. Встановлений взаємозв'язок між динамічним коефіцієнтом розподілу навантаження по осях колісного трактора та його конструктивними й експлуатаційними параметрами. Результати розрахунків динамічного коефіцієнта розподілу навантаження для колісного трактора класу 5, що працює в складі МТА, з різними значеннями питомої сили тяги на крюку, також наведено в роботі.

Один з шляхів підвищення ефективності використання ТТА — це коригування вертикальних навантажень на колеса [3,9]. Виявлено, що завдяки збільшенню зчіпної ваги шляхом коректування вертикальних навантажень, буксування знизилося на 6%, при цьому зчіпна вага зросла на 20%. В результаті вантажопідйомність причепа збільшилася на 38%, а продуктивність — на 6 т.

Метою дослідження є підвищення ефективності використання та зниження техногенного впливу на ґрунт МТА шляхом раціонального використання зчіпної ваги.

Завдання дослідження:

1. Дослідити вплив природно-кліматичних і виробничих умов на ефективність використання МТА в польових і транспортних роботах;

2. Теоретично обґрунтувати і вплив перерозподілу зчіпної ваги на тягове зусилля і буксування МТА;

3. Провести порівняльні господарські випробування МТА з пружинно-розвантажувальним механізмом (ПРМ);

Висновки:

1. Дослідження показали, що відбувається поступове розширення посівних площ, в той час як старіння техніки призводить до її списання, що збільшує загальне навантаження на трактор. Для подолання цього недоліку і розширення термінів і сфер використання техніки потрібно покращити тягово-зчіпні властивості колісних МТА, оскільки вони складають 75% загальної кількості тракторів. Це важливо, оскільки ґрунт під час основних сільськогосподарських робіт має низьку несучу здатність, що обмежує використання техніки через високий тиск на ґрунт.

2. Встановлено, що енергетичні засоби мають значний техногенний вплив на ґрунт, підвищуючи його щільність і твердість, що негативно впливає на ріст рослин. Трактори з низькою несучою здатністю залишають глибокі колії, що ускладнює подальшу обробку.

3. Покращення тягово-зчіпних властивостей колісних тракторів на ґрунтах з низькою несучою здатністю може бути досягнуте за рахунок збільшення зчіпної ваги шляхом перерозподілу навантаження з передніх, керованих коліс на задні привідні колеса. Однак питання впливу такого перерозподілу на передні не привідні колеса при технологічних переїздах ще потребує додаткових досліджень.

2. РОЗРАХУНОК ДОСЛІДЖЕНЬ.

2.1 Теоретичні дослідження щодо підвищення тягово-зчіпних властивостей мобільних енергетичних засобів та вплив перерозподілу зчіпної ваги на подовжню стійкість машинно-тракторного агрегату

В останні роки в Черкаській області активно використовують потужні колісні енергетичні засоби для заробітку сільськогосподарських культур. Водночас значну частину колісних тракторів становлять ті, що відносяться до тягового класу 1,4. Для підвищення ефективності роботи колісних МТА параметром є кількість відпрацьованих днів та напра

Хоча ці МТА мають високий енергетичний потенціал, вони мають суттєвий недолік — низькі тягово-зчіпні властивості. Це обмежує їх нормальну експлуатацію в сільськогосподарських господарствах, зокрема під час пікових періодів. Особливо це стосується малих та середніх господарств, де використовують колісну МТА з тяговим класом до 3. Одним із основних недоліків таких МТА є низька ефективність зчіпних властивостей, зокрема у тракторів з колісною формулою 2К4.

Для підвищення тягово-зчіпних властивостей пропонується програмати пристрій вагу, який дозволяє автоматично перерозподіляти зчіпну між мостами енергетичного засобу, що покращує покращення тягово-зчіпних властивостей.

Сьогодні для підвищення ефективності використання машинно-тракторних агрегатів (МТА) застосовуються багатофункціональні сільськогосподарські машини, що дозволяють поєднувати декілька операцій, збільшуючи продуктивність МТА [1]. Однак така агрегація супроводжується збільшенням маси самої машини. Водночас технологія обробітку сільськогосподарських культур передбачає підйом сільськогосподарських машин для виконання поворотів та розворотів.

Це часто призводить до зменшення ваги, яка припадає на передній керований міст енергетичної шкіри, що, у своєму випадку, знижує керованість МТА і стає стрімким чинником їх використання. Це питання можна за

допомогою спеціального додаткового пристрою для перерозподілу зчіпної ваги між мостами трактора.

Теоретичні дослідження показали, що використання цього пристрою в системі колісного трактора дозволяє ефективно перерозподіляти зчіпну вагу [15]. Взаємодіючі внутрішні сили, які забезпечують через переміщення штока гідроциліндра пропонованого пристрою, згідно з третім законом Ньютона, рівні за розміром і спрямовані в протилежні сторони, тому їх еквівалентна дія дорівнює нулю і їх можна не отримати. Однак ці зусилля створюють навантаження на остові трактора та ведучий міст, які рухаються під дією цієї сили.

Зазвичай для незмінних систем роботи внутрішніх сил можна ігнорувати, однак для цього пристрою слід забезпечити внутрішню силу взаємодії тягового моста і ПРВ, після чого вона є зовнішньою силою. Це дозволяє підвищити подовжню стійкість і збільшити зчіпну вагу МТА. Коригування зчіпної ваги дозволяє також змінювати дотичну силу тяги енергетичного стресу.

Завдяки цьому пристрою частини ваги, що припадає на передні керовані колеса, можна перерозподілити на задні ведучі колеса, що дає можливість автоматично змінювати зчіпну вагу трактора. Важливо, щоб вага на передньому мосту не була меншою за 20% загальної ваги трактора, це можна призвести до втрати керованості, особливо при недостатніх зчіпних властивостях.

Розглянемо роботу ПРВ для підвищення подовжньої стійкості. Припустимо, що ПРВ не має ваги (оскільки її маси дуже слабкі з масою трактора). Для вибору оптимальних геометричних параметрів ПРВ розглянемо його рівновагу в робочому положенні при висунутому штоку гідроциліндра. Схема перерозподілу ваги:

- У точці А — реакція шарнірного
- У точці В — тиск гідроциліндра (шток
- Ресора ВС тисне на передній міст, викликаючи реакцію напруження.

ПРВ можна розглядати в трьох позиціях.

- Нейтральне положення.
- Зміщення точок B і C проти годинникової стрілки.
- Зміщення точок B і C за годинниковою стрілкою.

Розглянемо рівновагу ПРВ при висуві (Рисунок 2.1).

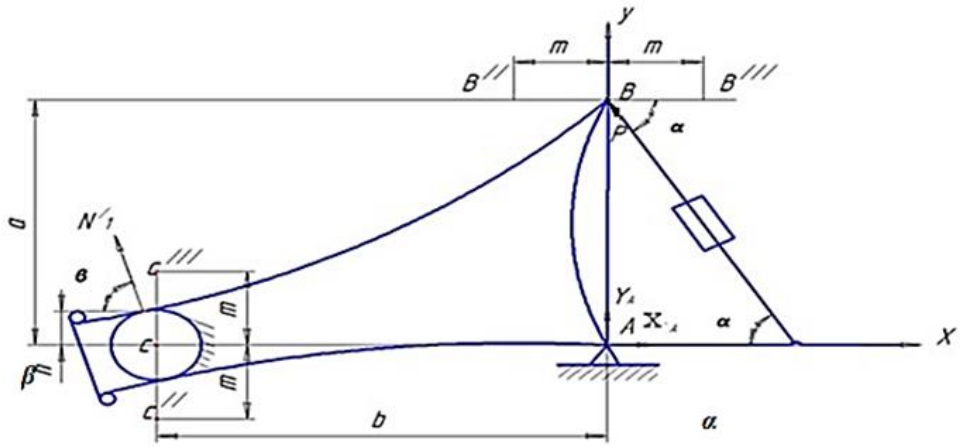


Рисунок 2.1 - Схема ПРВ.

де α — кут нахилу гідроциліндра до точки прикріплення; m — переміщення точки кріплення гідроциліндра, м; N — реакція поверхні, Н; b — відстань від точки кріплення гідроциліндра до поверхні реакції, м; А — шарнірно нерухома опора; В — точка кріплення робочої частини штока до важеля; АС, ВС — плоскі пружини; а — відстань від шарнірно-нерухомої опори (А) до точки кріплення гідроциліндра, м; h — відстань від точки С до точки прикладання реакції

Для подальших розрахунків можна застосувати реакцію поверхні, залежно від берега а та кута нахилу гідроциліндра α, як показано на рисунку.

Розглянемо рівновагу ПРВ при висуненні штока гідроциліндра зі зміщенням точок В і З проти годинникової стрілки на рисунку 2.2. Кут нахилу гідроциліндра конструктивно залишаємо колишнім (α=const).

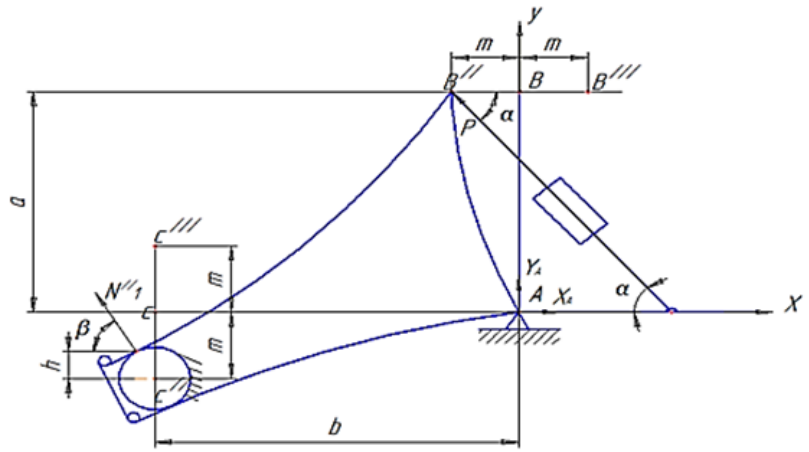


Рисунок 2.2 – Схема ПРВ під час висунення штока гідроциліндра зі зміщенням точок В і С проти годинникової стрілки.

.

У результаті спільного дослідження впливу висунення штокаммміі кута нахилуα\alphaαвстановлено,ммм. Максимальнеα=0\alpha = 0α=0раді

Розглянемо рівнову ПРВ при висоті штока гідроциліндра зі зміщенням точок В і С за годинниковою стрілкою (α=конст\alpha = \text{const}α=конст) (Рисунок 2.3).

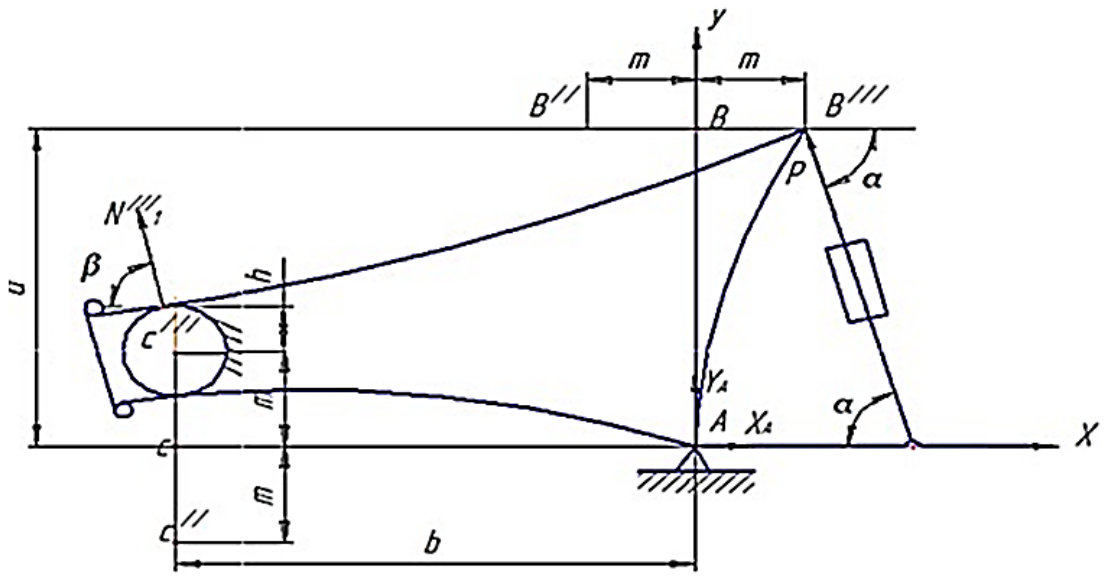


Рисунок 2.3 Схема ПРВ при висуненні штока гідроциліндра зі зміщенням точок В. Знаходимо реакцію поверхні.

При висоті дозволу штока гідроциліндра максимальна реакція дорівнює m, м – навантаженню на передній міст α. Це сприяє підвищенню подовжньої стійкості МТА та максимальному розвантаженню.

2.2. Підвищення тягово-зчіпних властивостей мобільного енергетичного засобу при використанні прижимно-розвантажувального механізму.

В умовах Черкаської області під час основних сільськогосподарських робіт широко застосовуються машинно-тракторні агрегати (МТА) з тракторами колісної формули 4К2, особливо в невеликих фермерських господарствах. Проте при агрегатуванні нових багатофункціональних сільськогосподарських машин виникає проблема недостатньої тягово-зчіпної здатності [102]. Це зумовлено тим, що частина ваги припадає на передній керований міст, який не бере участі у реалізації тягово-зчіпних властивостей трактора.

Для підвищення тягово-зчіпних властивостей пропонується використання прижимно-розвантажувального механізму (ПРВ), що дозволяє перерозподілити вагу між мостами енергетичного засобу.

Аналіз рівноваги ПРВ при втягуванні штока гідроциліндру.

Розглянемо рівновагу ПРВ при втягуванні штока гідроциліндра в трьох положеннях точок В і С. Розрахункова схема роботи пристрою подана на рисунку 2.4.

При втягуванні штока напрям сили тиску гідроциліндра змінюється, і на передній міст починає діяти ресора АС. Запишемо рівняння моментів сил, що впливають на ПРВ відносно точки А в нейтральному положенні точок З і В.

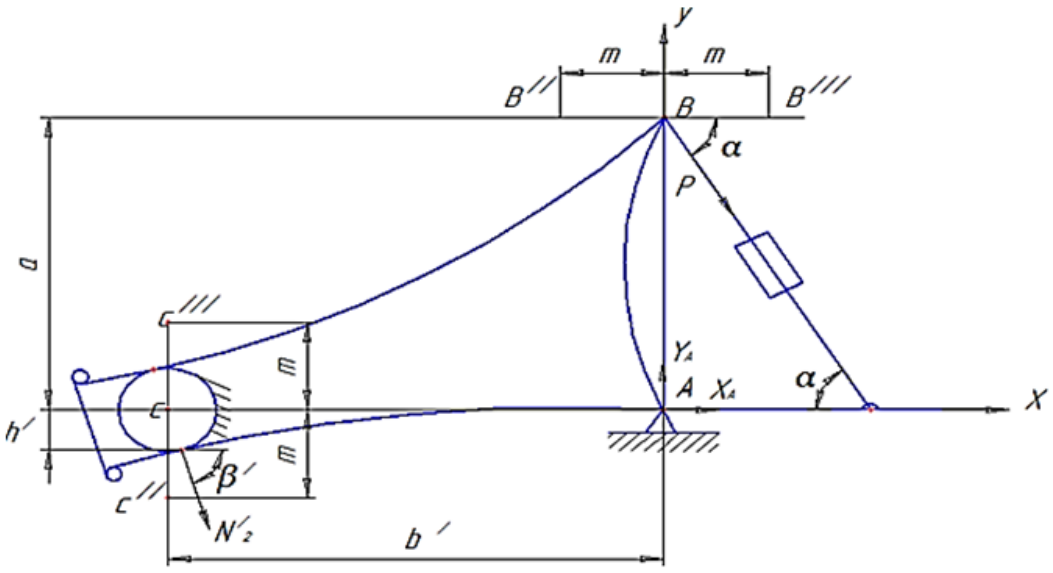


Рисунок 2.4 - Схема ПРВ при втягуванні штока гідроциліндра

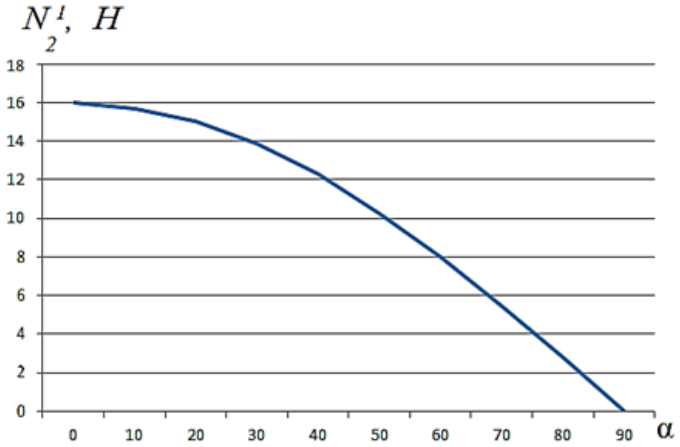


Рисунок 2.5 - Залежність реакції поверхні від кута нахилу гідроциліндра α

З рисунка 2.5 випливає, що при збільшенні кута нахилу гідроциліндра α від 0° до 90° при постійній відстані 0,55 м сила реакції поверхні зменшується до мінімального значення.

Вплив зміщення точок В і З на рівновагу ПРВ.

Розглянемо рівновагу ПРВ при втягуванні штока гідроциліндра зі зміщенням точок В і З проти годинникової стрілки (рисунок 2.6). При цьому кут нахилу гідроциліндра залишається незмінним (α=const).

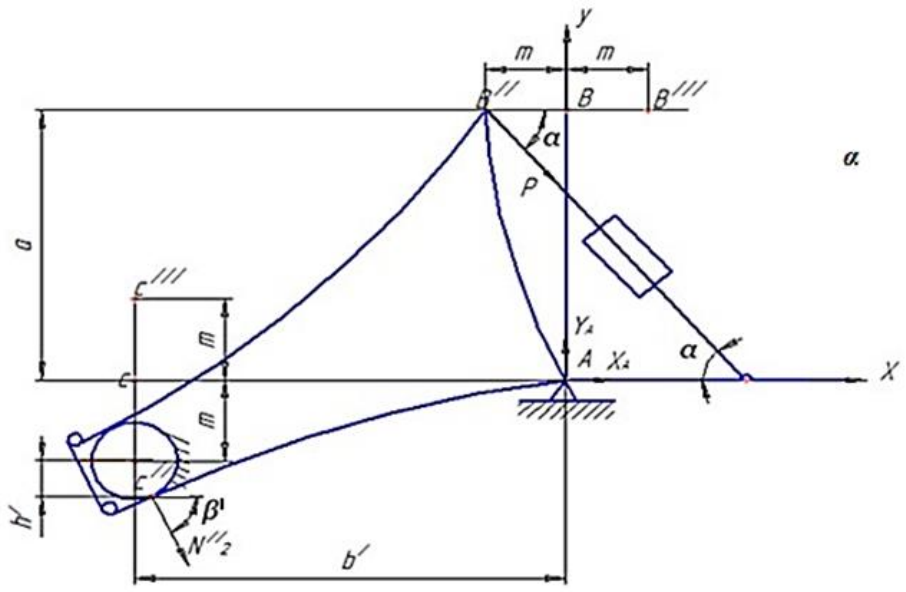


Рисунок 2.6 - Схема ПРВ при зміщенні точок В і З проти годинникової стрілки.

Розглянемо рівновагу ПРВ при втягуванні штока гідроциліндра зі зміщенням точок В і З за годинниковою стрілкою (рисунок 2.7, α=const).

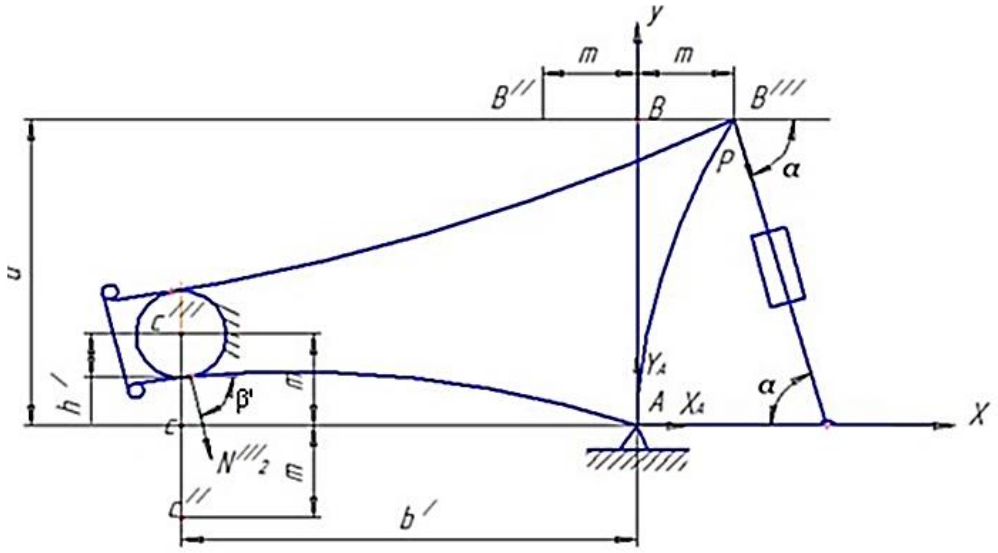


Рисунок 2.7 - Схема ПРВ при зміщенні точок В і З за годинниковою стрілкою.

2.3 Теоретичні залежності впливу перерозподілу зчіпної ваги між мостами трактора на експлуатаційні показники МТА

Дотична сила тяги мобільного енергетичного засобу залежить від зчіпної ваги, тобто від ваги, що припадає на привідні колеса, і визначається умовами зчеплення рушіїв із поверхнею ґрунту [1,2,9].

Основні фактори, що впливають на продуктивність машинно-тракторного агрегату:

- Ширина захоплення агрегату;
- Швидкість руху;

Взаємозв'язок між шириною захоплення агрегату та силою, що розвивається на крюку МТА, наведено у рівнянні. Використовуючи залежність, що дозволяє визначити додаткове навантаження на задні привідні колеса, та підставляючи її у вираз, отримаємо:

З урахуванням перерозподіленого навантаження з переднього моста додаткове значення дотичної сили тяги МТА визначається за виразом .

Момент, що крутить, реалізований ведучими колесами енергетичного засобу, залежить від ваги, що припадає на них, та коефіцієнта використання зчіпної ваги [12]. Буксування енергетичного засобу визначається за формулою, запропонованою І. І. Трепененковим [9,13].

Аналіз отриманих залежностей свідчить, що встановлення ПРВ зменшує буксування порівняно зі стандартними енергетичними засобами, що підвищує робочу швидкість і продуктивність машинно-тракторного агрегату.

Отримані аналітичні залежності представлені у графічному вигляді (рисунок 2.8).

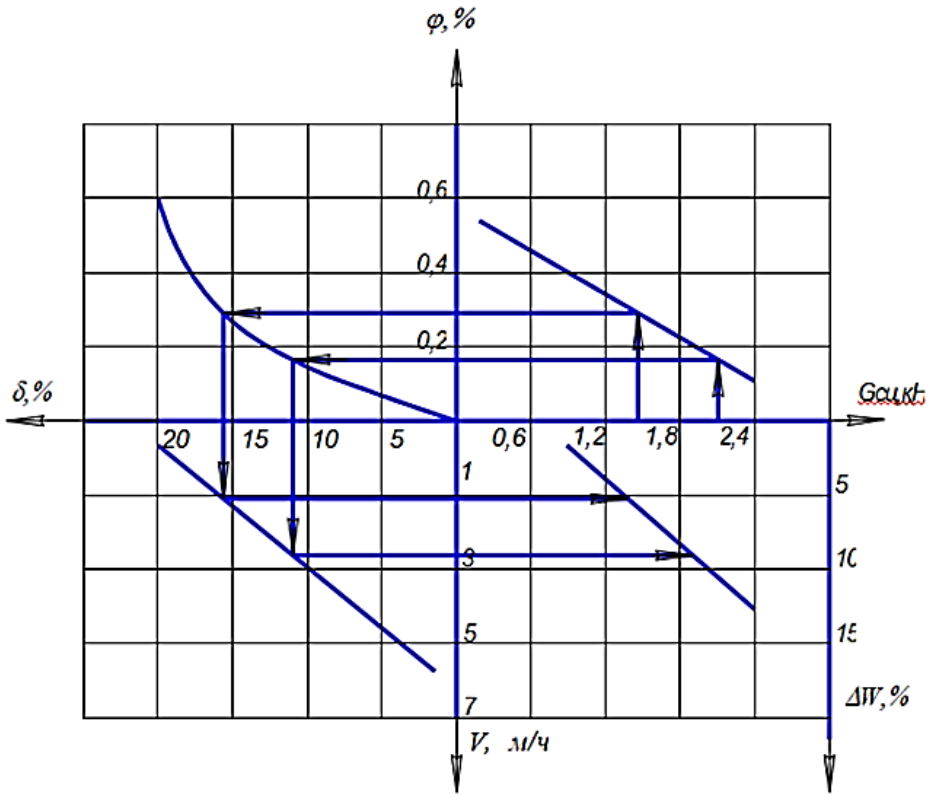


Рисунок 2.8 - Номограма для визначення впливу ПРВ на продуктивність МТА.

З аналізу рисунка 2.8 випливає, що продуктивність МТА з ПРВ вища, ніж у серійного агрегату. Наприклад, збільшення навантаження на 0,6 кН дозволяє підвищити продуктивність на 4%.

Висновки по розділу. Аналіз проблем недостатніх тягово-зчіпних властивостей колісних сільськогосподарських тракторів пропонує використання прижимно-розвантажувального механізму (ПРВ) як спосіб підвищення ефективності їх роботи. Теоретичні дослідження підтверджують, що ПРВ може покращити тягово-зчіпні властивості шляхом перерозподілу ваги між мостами, що в свою чергу може призвести до зменшення буксування та підвищення продуктивності машинно-тракторних агрегатів.

3. ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Безпека праці під час збирання зернових культур.

Нещасні випадки в агропромисловому комплексі найчастіше трапляються під час експлуатації самохідних машин, зокрема колісних тракторів та вантажних автомобілів. Однією з основних причин таких випадків є неуважність працівників і порушення ними елементарних норм безпеки під час виконання механізованих процесів.

Особливу увагу аграріїв слід звернути на небезпечні та шкідливі виробничі чинники, що можуть виникати під час використання сільськогосподарської техніки:

- Фізичні – рухомі агрегати й механізми, підвищена температура, запиленість та загазованість повітря робочої зони, рівень шуму, вібрації, освітленості, статичної електрики;
- Хімічні – пестициди, агрохімікати, гази розкладання органічних речовин;
- Психофізіологічні – фізичні та нервово-психічні перевантаження.

Ці чинники впливають на професійні ризики, зокрема:

- перекидання машини або агрегату;
- раптове опускання навісного знаряддя;
- травмування працівників рухомими механізмами;
- наїзд на перешкоди або працівника;
- падіння знаряддя на працівника;
- втрата стійкості агрегатованого знаряддя;
- падіння працівника з машини;
- від’єднання причепу під час руху.

Роботодавці та керівники структурних підрозділів перед початком посівної кампанії повинні:

- скласти технологічну карту робіт, включивши до неї всі аспекти виробничих операцій, зокрема питання охорони праці;

- провести інструктажі з охорони праці, медогляди, перевірку знань правил безпечного виконання робіт, особливо для механізаторів;
- посилити контроль за дотриманням трудової та виробничої дисципліни;
- не допускати до роботи працівників у стані алкогольного чи наркотичного сп’яніння, а також у хворобливому або стомленому стані;
- перевірити відповідність машин та обладнання вимогам охорони праці, пожежної безпеки, дорожнього руху та електробезпеки;
- забезпечити рух та розміщення техніки на полях відповідно до технологічних карт.

Необхідно також організувати в польових умовах пункти обігріву, харчування та медичної допомоги. Працівники мають бути забезпечені спеціальним одягом, взуттям та засобами індивідуального захисту. Особи без належних засобів захисту або з простроченим терміном їхньої перевірки до роботи не допускаються.

Висновок: Забезпечення безпеки праці в агропромисловому комплексі вимагає суворого дотримання норм охорони праці та запобіжних заходів під час експлуатації сільськогосподарської техніки. Основними факторами ризику є фізичні, хімічні та психофізіологічні впливи, які можуть призвести до нещасних випадків. Для мінімізації ризиків необхідно здійснювати інструктажі, контролювати дотримання трудової дисципліни, проводити медогляди та перевірку знань працівників. Важливим є забезпечення належних умов праці, включаючи спеціальний одяг та засоби індивідуального захисту. Дотримання цих заходів сприятиме зниженню рівня травматизму та підвищенню безпеки в аграрному секторі.

4. ОБГРУНТУВАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.

В останні роки в Черкаській області активно використовують потужні колісні енергетичні засоби для виконання сільськогосподарських робіт, зокрема для обробки великих земельних ділянок. Одним із найпоширеніших типів тракторів є колісні трактори тягового класу 1,4, які володіють високим енергетичним потенціалом. Проте ці трактори мають суттєвий недолік — низькі тягово-зчіпні властивості, що обмежує їх ефективне використання в умовах складних сільськогосподарських робіт, особливо під час пікових навантажень у період весняно-польових чи осінніх робіт.

Зокрема, трактори, що належать до малих і середніх класів (включаючи ті, що використовуються в агрофермерських господарствах з тяговим класом до 3), стикаються з проблемами низької ефективності зчіпних властивостей. Одним із основних обмежень є зниження зчіпної сили, зокрема, у тракторів з колісною формулою 4х2 або 4х4, коли зусилля зчеплення між колесами та ґрунтом є недостатніми для повної реалізації тягових можливостей трактора.

Для підвищення тягово-зчіпних властивостей таких машин пропонується використання спеціальних пристроїв, які дозволяють автоматично перерозподіляти зчіпну вагу між передніми і задніми мостами. Це дає змогу ефективніше використовувати потенціал трактора, збільшуючи його тягово-зчіпні характеристики, що є особливо важливим для малих та середніх господарств, де потреби в маневреності та ефективності в роботі з навісними та причіпними агрегатами значні.

Одним із найважливіших аспектів в підвищенні ефективності використання машинно-тракторних агрегатів (МТА) є їх здатність зберігати стійкість та керованість під час роботи, зокрема при виконанні поворотів або маневрів на складних ділянках. Для цього застосовуються багатофункціональні сільськогосподарські машини, що поєднують кілька операцій в одному циклі роботи, що дозволяє значно збільшити продуктивність агрегатів.

Але застосування таких багатофункціональних машин часто призводить до збільшення їх маси, що, в свою чергу, може негативно вплинути на

керованість та стійкість агрегату. Зокрема, під час поворотів або розворотів, частина ваги, яка припадає на передній керований міст трактора, зменшується, що погіршує керованість та загальну стійкість агрегату. Виникає ситуація, коли трактор стає менш стабільним і виникають проблеми з тягою і керованістю, особливо в умовах великих навантажень.

Для вирішення цієї проблеми пропонується використання додаткових пристроїв для перерозподілу ваги між мостами трактора. Зокрема, використання спеціальних приладів, які автоматично регулюють зчіпну вагу, дозволяє забезпечити більш рівномірне розподілення маси між передніми і задніми колесами, що покращує стійкість агрегату і зменшує ризик втрати контролю під час маневрування.

Теоретичні дослідження показали, що завдяки такому пристрою можна зберегти оптимальний розподіл ваги під час різних операцій, підвищуючи подовжню стійкість агрегату та забезпечуючи належний рівень тяги на ведучих колесах.

В умовах Черкаської області, де активно використовуються машинно-тракторні агрегати з колісною формулою 4х2, особливо в малих фермерських господарствах, виникає проблема недостатньої тягово-зчіпної здатності. Це зазвичай обумовлено тим, що значна частина ваги припадає на передній керований міст, який не бере участі у забезпеченні тягових зусиль. Як результат, частина ваги не може бути ефективно використана для збільшення зчіпної сили на задніх ведучих колесах.

Щоб підвищити тягово-зчіпні властивості таких машин, пропонується використання прижимно-розвантажувального механізму (ПРВ). Цей механізм дозволяє перерозподілити вагу між передніми та задніми мостами трактора, що, у свою чергу, підвищує ефективність зчеплення задніх ведучих коліс із ґрунтом і покращує тягово-зчіпні характеристики.

При застосуванні ПРВ, завдяки гідравлічним силам, відбувається змінювання навантаження на передній та задній мости, що дозволяє досягти оптимального розподілу ваги, забезпечуючи надійне зчеплення з поверхнею

ґрунту. Це дозволяє зменшити буксування і підвищити ефективність роботи тракторів у складних агроекологічних умовах.

Дотична сила тяги є одним із основних факторів, що впливають на продуктивність мобільних енергетичних засобів. Вона визначається умовами зчеплення рушіїв із поверхнею ґрунту і залежить від ваги, що припадає на привідні колеса трактора.

Основними факторами, що впливають на продуктивність МТА, є:

- Ширина захоплення агрегату — чим ширше захоплення, тим більша сила тяги, яка необхідна для ефективного обробітку ґрунту.
- Швидкість руху — на високих швидкостях збільшується потреба в підвищенні тягових властивостей для забезпечення необхідної продуктивності.

Перерозподіл зчіпної ваги між передніми і задніми колесами дозволяє збільшити ефективність роботи тракторів. За допомогою прижимно-розвантажувального механізму можна додатково збільшити зчіпну силу на задніх колесах, що веде до зменшення буксування та підвищення робочої швидкості. Це, у свою чергу, позитивно впливає на загальну продуктивність сільськогосподарського агрегату, що підтверджується математичними розрахунками.

Залежності, що описують вплив ПРВ на продуктивність МТА, показують, що навіть невеликі зміни в розподілі ваги можуть призвести до значного покращення експлуатаційних характеристик тракторів. Наприклад, збільшення навантаження на 0,6 кН дозволяє підвищити продуктивність агрегату на 4%.

Висновки;

1. Використання прижимно-розвантажувального механізму дозволяє ефективно перерозподіляти вагу між переднім і заднім мостами тракторів, що значно покращує тягово-зчіпні властивості та загальну стійкість МТА.
2. Підвищення зчіпної ваги на задніх колесах сприяє зменшенню буксування та підвищенню робочої швидкості, що позитивно позначається на загальній продуктивності сільськогосподарських робіт.

3. Теоретичні розрахунки і експериментальні дані свідчать, що застосування ПРВ значно зменшує енерговитрати і підвищує ефективність роботи мобільних енергетичних засобів, особливо у складних агроекологічних умовах.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті теоретичних досліджень, проведених в роботі за рішенням наукового завдання по підвищенню ефективності використання і зниження техногенної дії на грунт МТА на польових і транспортних роботах, отримані наступні висновки:

1. Проведений аналіз показав, що природно-кліматичних і виробничих умов Черкаської області які мають великий вплив на ефективність використання і тягово-зчіпні властивості колісних енергетичних засобів. Отримані теоретичні залежності дозволяють стверджувати, що використання ПРМ дозволяє перерозподіляти зчіпну вагу між мостами МТА, що знижує буксування, підвищує величину тягового зусилля і продуктивність сільськогосподарського агрегату.

2. Теоретичні дослідження показали, що при висуненні штока гідроциліндра відбувається розвантаження заднього ведучого моста МТА (колісного трактора класу 1,4) з 21,4 кН до 20,1 кН і збільшення ваги того, що доводиться на передній керований міст, що дозволяє підвищити поперечну стійкість при транспортному положенні с.-г. машини в час виконанні технологічних розворотів і переїздів. При зворотному русі штока гідроциліндра відбувається збільшення зчіпної ваги МТА з 21,4 до 23,0 кН, що дозволяє підвищити тягово-зчіпні властивості. У той самий час при однаковому тяговому зусиллі 14,1 кН буксування відповідно склало 11,02 20,52, що говорить про доцільність використання процесу перерозподілу зчіпної ваги.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Mancovic, M. Dynamic modeling of the transmission line of an agricultural tractor / M. Mancovic // SAE Techn. Pap. Ser, 1991. – P. 1-12.

2. Beireitung mitteleurpaischer Traktoren Vahlensieck bernd Renius Karl – Theodor, Hetz Edmundo// Land techik, 1993, № 8-9.

3. Buliński, Jerzy. Effect of multiple passages and the wheel load on soil deformation / Jerzy Buliński, Łukasz Leszczyński // Ann.Warsaw Univ.Life Sci. Agr.– 2012. – № 59. – P.5-12.

4. Hakansson, I. A Method for Characterizing the State of Compactness of the Plough laye / I. Hakansson // Soil Tillage Research, 16 (1990). –P. 105 - 120.

5. Hakansson, I. A. Method for Characterizing the State of Compactness of an Arable Soil / I. A. Hakansson // Catena Supplement 11. Braunshweig, 1988. – P. 101-105.

6. Hart, W. E. On dynamic characteristics of Wheeled tractors /W. E. Hart// Venicle syst dyn, 1988. – 17/Syppl. - 541 p.

7. Hunger, Ruedi. Bodenverdichtung: Prävention vor Regeneration / Ruedi Hunger // Schweiz. Landtechn. – 2012. – 74, Aug. – P. 46-48.

8. Kucsewski, J. Comparative analysis of the relation between the tractor wheel slip and the coefficient of adhesion utilization according to various empiric formulae / J. Kucsewski, S. Wolski // Ann. Warsaw Agr. Univ SGGW //Ar. Agr, 2000. – № 23. – P. 3-9.

9. Lines, J. A. The stiffness of agricultural tractor tires / J. A. Lines, K. Murphy // J. Terramech. – 1999. – V. 28, № 1. – P. 49-64.

10. Nattenes I. The mechanikal farm for 2030 – Agricultural Engineering, 1982. – № 1. – P. 30-32.

11. Niedrigor Luftdruck schont den boden / Volk Ludwig // Getreide Mag. – 2017. – V.3, № 3. – P. 108-111.

12. Performance of tractor cage whell as affected by lug height. Dubey R.K., Singh Bachchan. «J. Agr. Eng.». – 1985. – V. 22, № 3.– P. 1-8.

13. Rubber–traching concept lifeby lighten weights / Collings Andy,

Faulkner Andrew// Farmens Weekly. – 1994 – V. 121, N 21. – P. 61.

14. Sasaki, S. Articulated tracked vehicle with four diqrees of freedom /S. Sasaki, E. Miyata // J. Terramech. – 2021. – V. 28. – № 2. – P. 189-199.

15. Skornyakov E., Kvasha E., Tatalin B., Rusanov V. (Dnepropetrovsk, Moskow). New Conception of design and manufacture of ENVIRONMENT – protective properties tires and efficientyof there application // INTERNATION CONFERENCE SOIL COMPACTION AND SOIL NAMAGEMENT. TALLIN, ESTONIA, 8-12 JUNE, 1992. – P. 16-19.

16. Soane, B.D. The ground pressure of wheels and tracks / B.D. Soane // Power Farm. – 1970. – V. 44. – N 4. – P. 40-44.

17. Traction benefits of prepared traffic lanes. Burt Eddie C., Taylor James H., Welis Larry G. «Agr. Eng.». – 1984. – V. 65, N 9. – P.16-18.

18. Trend to larger equipment forecast after CAP reform // Farmers Weekly. – 2022. – № 25. – P. 33.