

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: **«Підвищення показників керованості та курсової стійкості багатовісних автомобілів»**

Виконав: студент VII курсу групи Ат-71

Спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”
(шифр і назва)

Юрій КАНТОР
(ім'я та прізвище)

Керівник: Степан ХІМКА
(ім'я та прізвище)

Дубляни 2024

РЕФЕРАТ

«Підвищення показників керованості та курсової стійкості багатовісних автомобілів». – Кантор Ю.С. – Кваліфікаційна робота. Кафедра автомобілів і тракторів. - Дубляни, -Львівський НУП, 2024. 54 с. текст. 5 част. 15 рис., 4 табл., бібл. 22.

Мета данної роботи дослідити та провести аналіз показників керованості та курсової стійкості багатовісних технічних засобів.

Задачі роботи:

Зробити гляд сучасного стану техніки та дорожньо-транспортної інфраструктури

Проаналізувати проблему недостатньої керованості та стійкості багатовісних автомобілів

Зробити огляд критеріїв, які характеризують показники курсової стійкості машин.

Провести аналіз моделей руху машин і рішення для забезпечення курсової стійкості.

Обґрунтувати шляхів покращення курсової стійкості грейдера як багатовісного транспортного засобу.

Зробити висновки.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ОГЛЯД ПИТАННЯ. ОБГРУНТУВАННЯ ТЕМИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	9
1.1 Огляд сучасного стану техніки та дорожньо-транспортної інфраструктури.....	9
1.2 Проблема недостатньої керованості та стійкості багатовісних автомобілів	10
1.3 Обґрунтування теми роботи і задачі.....	15
2 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ КУРСОВОЇ СТІЙКОСТІ І ОГЛЯД КРИТЕРІЇВ ЩО НА НЕЇ ВПЛИВАЮТЬ	17
2.1 Ходова частина автомобіля і сили які на неї діють	17
2.2 Огляд критеріїв, які характеризують показники курсової стійкості машин.....	21
Висновки до розділу.....	25
3 АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ РУХУ МАШИН І РІШЕННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КУРСОВОЇ СТІЙКОСТІ.....	28
3.1 Аналітичні моделі процесу формування траєкторії руху машини.....	28
3.2 Огляд рішень, які забезпечують курсову стійкість.....	31
Висновки до розділу.....	34
4 ОБГРУНТУВАННЯ ШЛЯХІВ ПОКРАЩЕННЯ КУРСОВОЇ СТІЙКОСТІ ГРЕЙДЕРА	36
4.1 Покращення курсової стійкості грейдера	36
4.2 Очікуваний економічний ефект.....	39
Висновки до розділу.....	41

5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	42
5.1	Аналіз травмонебезпечних ситуацій та вимоги безпеки під час експлуатації електричного обладнання.....	42
5.2	Планування заходів з покращення охорони праці.....	44
5.3	Моделювання процесів формування і виникнення небезпечних ситуацій під час	45
5.4	Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	48
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	49
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	52

ВСТУП

Стійкість автомобіля визначається як комплекс його характеристик, що визначають його спроможність утримувати задану траєкторію руху при впливі зовнішніх факторів, які тяжіють відхилити автомобіль від цієї траєкторії, такі як перекидання, занос та ковзання. Ефективність стійкості автомобіля залежить від його конструкції, таких як розташування центра маси, колія та база, а також бічна еластичність шин.

Властивість автомобіля утримувати прямолінійний рух та зберігати напрямок, заданий керуванням рулем, називається керованістю. Фактори, які впливають на керованість, включають конструкцію рульового механізму та рульового привода, положення центра маси автомобіля та конструкцію підвіски та шин (їхня бічна еластичність).

Результати досліджень вказують на те, що основними причинами втрати керованості та стійкості вантажних автомобілів з напівпричепами є несправності в рульовому керуванні, нерівномірне регулювання колісних гальм, люфт у підвісці та невідповідність вимогам індексу стійкості.

Попередні європейські дослідження виокремили три основні причини перекидання вантажних автомобілів з напівпричепами: раптове відхилення від курсу, часто супроводжуване інтенсивним гальмуванням та великою початковою швидкістю; надмірна швидкість під час повороту; переміщення вантажу.

Зменшення негативного впливу втрати стійкості та керованості вантажних автомобілів з напівпричепами та уникнення аварій є ключовою проблемою у забезпеченні безпеки дорожнього руху. [3, 6, 11, 13].

Вивчення проблеми забезпечення стійкості та керованості вантажних автомобілів відкриває можливість розробки нових та удосконалення відомих методів для забезпечення стійкості та керованості вантажних багатовісних автомобілів.

У сучасному транспортному сегменті, де велика частина вантажів та пасажирів перевозиться багатовісними автомобілями, проблема підвищення показників керованості та курсової стійкості набуває особливого значення. Здатність керування та стійкість цих транспортних засобів визначають не лише їхню безпеку, але й ефективність функціонування в умовах сучасного транспортного середовища.

Багатовісні автомобілі, такі як вантажівки та автобуси, стикаються з рядом технічних та експлуатаційних викликів, пов'язаних з їхньою габаритною розмірністю та великою масою. Оптимізація показників керованості та курсової стійкості стає критичною для забезпечення не лише безпеки учасників дорожнього руху, але й для підвищення ефективності транспортних операцій та зниження впливу на довкілля.

У цьому контексті, дана робота присвячена детальному вивченню проблеми підвищення керованості та курсової стійкості багатовісних автомобілів. Під час дослідження будуть розглядатися різноманітні фактори, що впливають на ці показники, включаючи конструкційні особливості, властивості шин, аспекти безпеки, а також технологічні та інженерні рішення.

Метою даної роботи є виявлення основних викликів, які стоять перед багатовісними автомобілями, та розробка рекомендацій щодо покращення їхніх показників керованості та курсової стійкості. Засвідчена необхідність удосконалення цих характеристик буде висвітлена через призму актуальних викликів та тенденцій в галузі автомобільного транспорту.

Результати даного дослідження можуть стати важливим внеском у вдосконалення технічних параметрів та безпекових характеристик багатовісних автомобілів, сприяючи подальшому розвитку та вдосконаленню сучасного транспортного сектора.

1 ОГЛЯД ПИТАННЯ. ОБГРУНТУВАННЯ ТЕМИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1.1 Огляд сучасного стану техніки та дорожньо-транспортної інфраструктури

Україна, як країна з розвиненою транспортною системою, стикається з рядом викликів та проблем у сфері техніки та дорожньо-транспортної інфраструктури. Нижче наведено огляд основних аспектів сучасного стану цих секторів:

1. Автотранспорт та його технічний стан:

Автопарк: Україна має значний автопарк, проте частка застарілих транспортних засобів залишається високою, що може впливати на екологічну ефективність та безпеку дорожнього руху.

Екологічні питання: Забруднення повітря великою мірою пов'язане з автотранспортом. Заходи до модернізації автопарку та підтримки електромобільності дедалі більше стають актуальними.

Безпека: Високий рівень дорожньо-транспортних пригод та недостатній стан доріг впливають на безпеку руху. Розробка та впровадження передових систем безпеки стають надзвичайно важливими.

2. Дорожньо-транспортна інфраструктура:

Стан доріг: Багато доріг потребують серйозного ремонту та реконструкції. Низька якість доріг впливає на комфорт руху, споживання пального та загальний стан автомобілів.

Розвиток інфраструктури: Ініціативи щодо розвитку швидкісних автодоріг, високошвидкісних залізниць та розширення аеропортів спрямовані на поліпшення транспортної доступності.

Сучасні технології: Впровадження інформаційних технологій у дорожньо-транспортній системі, таких як системи електронного

транспортного обслуговування та інтелектуальні системи управління трафіком, є актуальними.

3. Громадський транспорт:

Міський громадський транспорт: Великі міста зіштовхуються з проблемами перевантаженості та старіння транспортних засобів громадського транспорту. Модернізація та розвиток громадського транспорту є важливою задачею для поліпшення міської мобільності.

Інтермодальність: Впровадження інтермодальних систем сприяє зручній пересадці між різними видами транспорту та зменшенню автомобільного трафіку.

Загалом, Україна стикається із важливим завданням модернізації техніки та інфраструктури для забезпечення сталого та безпечного розвитку транспортної системи. Реалізація комплексних заходів та інноваційних підходів може значно поліпшити сучасний стан та перспективи розвитку транспортної галузі в Україні. [2, 6, 9, 15].

1.2 Проблема недостатньої керованості та стійкості багатовісних автомобілів

У світі є велика кількість різних компонувань транспортних засобів (рис.1.1).

Найпоширенішими типами вантажних автомобілів є:

- Вантажний фургон (анг. box truck)
- Вантажний фургон з причепом (анг. box truck with trailer)
- Тягач з напівпричепом (анг. tractor unit with semi-trailer)
- Автопоїзд (анг. long heavy truck (LHV))

Крім того є спеціальні транспортні засоби, такі як сміттєві вантажні автомобілі, ярмаркові та циркові вантажні автомобілі, причепи-платформи тощо.

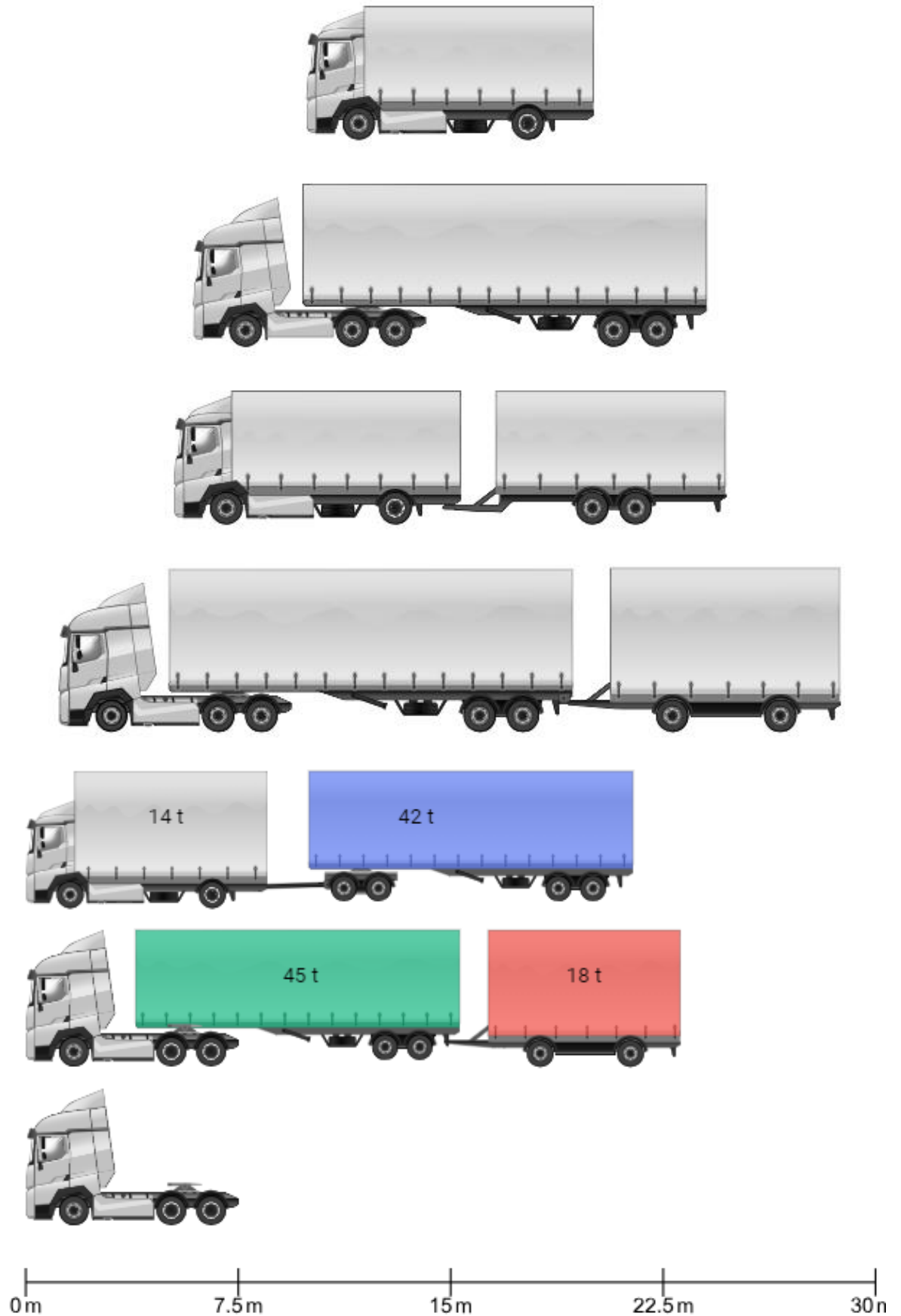


Рисунок 1 1 - Найпоширеніші типи вантажних автомобілів

Вантажний фургон - це вантажний автомобіль з фіксованим вантажним простором. Його вантажний простір та кабіна встановлені на шасі.

Переважно вантажні фургони мають дві або три осі. Двигун, як у звичайних вантажних автомобілях, розташований під кабіною.

Вантажний фургон - це щось між звичайною вантажівкою та фургоном для доставки.

Напівпричіп - це причіп, який не має своєї власної передньої осі. Тому більша частина ваги напівпричепа припадає на сідлове з'єднання (п'яте колесо) тягача.

Причіп можна завантажити та розвантажити без самого тягача, що дозволяє водієві тягача перевозити більше товарів продовж певного часу.

Автопоїзд (LHV). Цей транспортний засіб також називається "Есосомбі" або Eurocombi". Автопоїзд (LHV) - це вантажний автомобіль довжина якого не перевищує 25,25 м, з максимально допустимою вагою 44 т.

Максимально допустима вага може змінюватися залежно від законодавства відповідної країни. Автопоїзд (LHV) може бути вантажним фургоном з причепом або тягачем з напівприцепом.

Перевага автопоїзда (LHV) є порівняно зі стандартним комопнуванням транспортних засобів - це можливість транспортувати більшу кількість вантажу. У цьому випадку споживання палива дуже незначно збільшується. Ось чому LHV вважається більш екологічним: два автомобілі замінюють 3 звичайних вантажних автомобіля.

Автопоїзд (LHV) має кілька осей, який порівняно зі звичайними вантажними автомобілями, зменшує навантаження на кожну вісь.

У вантажних автомобілях часто встановлюються декілька керованих осей.

Збільшуючи кількість осей збільшується вантажність автомобіля.

Керовані осі виконують такі функції:

- Збільшують термін служби шин.
- Дають змогу повертати.
- Дають змогу виконувати невеликі повороти.

У вантажівках використовуються такі керовані осі (рис. 8):

•Передні керовані осі (рис. 8а). Деякі вантажні автомобілі мають дві керовані передні осі. У цьому випадку друга передня вісь з'єднується з першою передньою віссю (за допомогою двох рульових сошок).

Вантажні автомобілі з двома передніми керованими осями можуть витримати велике навантаження на передній частині автомобіля.

Прикладом датового типу автомобіля є бетоно-змішувач.

•Задні привідні подвійні осі (рис. 8б). У двох осьових вантажних автомобілях (з подвійною віссю) передня подвійна вісь також часто може бути керованою. Таким чином у автомобілі можуть бути дві керовані осі: передня вісь і задня подвійна вісь. Дані осі керуються за допомогою гідравлічних циліндрів.

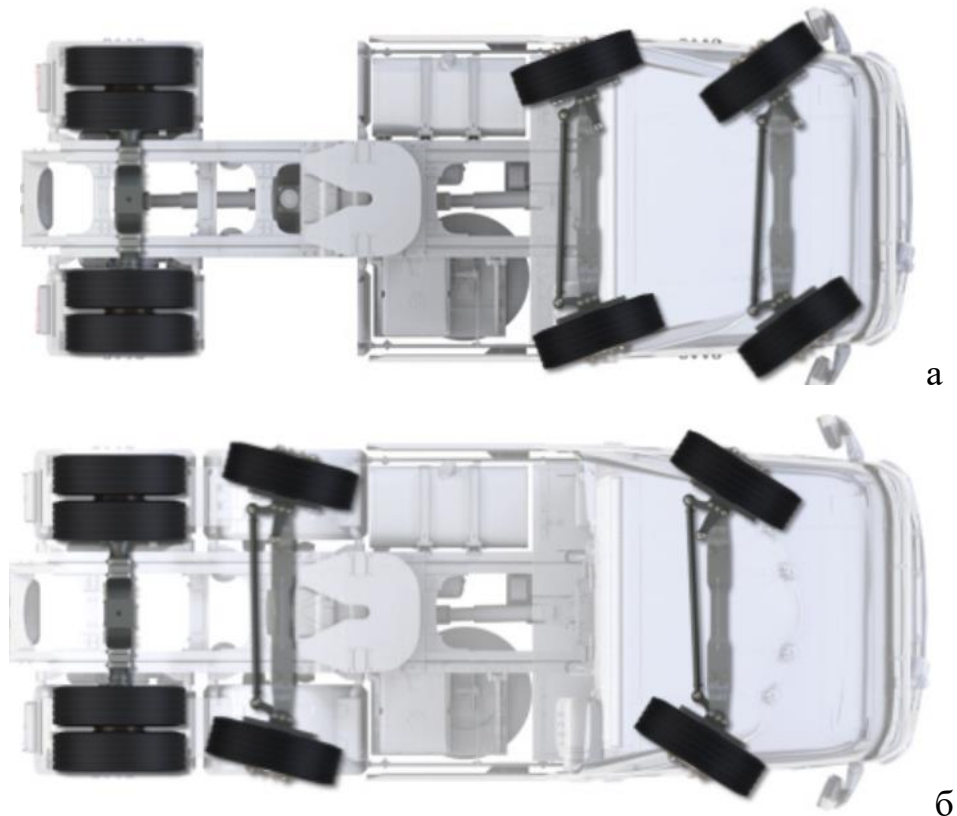


Рисунок 1.2 – Керовані осі.

Вантажні автомобілі такого компонування дуже легко маневрують в поворотах. Приклад вантажного автомобіля із задньою привідною подвійною віссю є будівельний автокран.

•Самокеровані осі. Наявність певних керованих осей залежить від цілі використання транспортного засобу.

Багатовісний автомобіль - це транспортний засіб, який характеризується наявністю більше ніж двох осей (вісей), призначених для підтримки його ваги та забезпечення руху. Ці транспортні засоби зазвичай використовуються для перевезення великих обсягів вантажів чи пасажирів, і вони можуть бути розділені на декілька сегментів або відсіків, кожен з яких може мати свою власну вісь.

Багатовісні автомобілі включають вантажівки, автобуси, тягачі, а також спеціалізовані транспортні засоби, такі як вантажівки з напівпричепами чи автомобілі з додатковими вісьми для збільшення їхньої вантажопідйомності та стійкості. Такі автомобілі використовуються в різних сферах, включаючи вантажну та пасажирську перевезення, будівельну і сільськогосподарську сферу, а також у військових та екстремальних умовах.

Головні виклики недостатньої керованості та стійкості багатовісних автомобілів:

Габарити та маса: Багатовісні автомобілі, такі як вантажівки, автобуси та інші великі транспортні засоби, мають значно більші габарити та вагу порівняно з легковими автомобілями. Це може призводити до низької маневреності та ускладнювати керування в обмежених умовах дорожнього руху.

Центр тяжіння: Велика вага та специфіка конструкції багатовісних транспортних засобів призводять до високого положення центра важіння, що може впливати на їхню керованість та стійкість. Це особливо актуально при великих швидкостях та під час виконання різних маневрів.

Недостатня керованість. Обмежена маневреність. Багатовісні автомобілі часто мають обмежену здатність до виконання різноманітних маневрів, особливо в умовах обмеженого простору, наприклад, на тісних вулицях міст чи на будівельних майданчиках.

Важка парковка та розворот. Паркування та розворот багатовісних автомобілів може бути важким завданням через їхні габарити та обмежену видимість для водія.

Недостатня стійкість. Підвищене ризик перекидання. Велика вага та високий центр важіння збільшують ризик перекидання багатовісних автомобілів при гострому повороті чи при гострому гальмуванні.

Вплив зовнішніх чинників. Активність вітру, стан дорожнього покриття та інші зовнішні чинники можуть впливати на стійкість цих транспортних засобів, особливо в умовах негоди чи на погано утримуваних дорогах.

Виклики на дорозі. Взаємодія з іншими транспортними засобами. Багатовісні автомобілі повинні взаємодіяти з іншими учасниками руху, і їхня недостатня керованість може створювати труднощі в процесі обгону та пересування в широкому трафіку.

Безпека дорожнього руху. Низька керованість та стійкість можуть призводити до збільшення аварійності та важкості наслідків дорожніх пригод, зокрема у випадках надмірної швидкості чи погіршених дорожніх умов.

Вирішення проблеми недостатньої керованості та стійкості багатовісних автомобілів вимагає комплексного підходу, включаючи вдосконалення конструкції, впровадження передових технологій безпеки та покращення інфраструктури для підтримки цих транспортних засобів на дорогах. [3, 5, 11, 16].

1.3 Обґрунтування теми роботи і задачі

Багатовісні автомобілі відіграють ключову роль в сучасній транспортній системі, перевозячи великі обсяги вантажів та пасажирів. Зростання їхнього числа та функціональності вимагає постійного вдосконалення технічних характеристик для забезпечення безпеки та ефективності експлуатації.

Зменшення розмірів, збільшення маси вантажів, та різноманітні умови експлуатації створюють технічні виклики у забезпеченні стійкості та керованості багатовісних автомобілів. Це особливо актуально при великих швидкостях, на погано утримуваних дорогах та в умовах непередбачених ситуацій.

Стійкість та керованість є критичними для безпеки дорожнього руху. Проблеми в цих аспектах можуть призводити до аварій та небезпеки для учасників дорожнього руху, особливо в областях з інтенсивним транспортним потоком.

Зростання комплексності транспортних систем та впровадження новітніх технологій створюють можливості для вдосконалення керованості та стійкості. Дослідження в цьому напрямку може сприяти інноваційним рішенням та технологічному прогресу.

Ефективне керування та стійкість можуть сприяти економії пального та зменшенню викидів, що важливо для досягнення сталого розвитку транспортної галузі.

Загальне обґрунтування теми роботи базується на потребі вдосконалення характеристик багатовісних автомобілів для забезпечення їхньої безпеки, ефективності та узгодженості з вимогами сучасного транспортного середовища. Результати дослідження в цій області можуть мати велике практичне значення для автовиробників, операторів транспортних засобів та регулюючих органів, сприяючи подальшому розвитку безпечних та ефективних транспортних систем.. [3, 6, 11, 17].

Мета данної роботи дослідити та провести аналіз показників керованості та курсової стійкості багатовісних технічних засобів.

Задачі роботи: Зробити гляд сучасного стану техніки та дорожньо-транспортної інфраструктури

Проаналізувати проблему недостатньої керованості та стійкості багатовісних автомобілів

Зробити огляд критеріїв, які характеризують показники курсової стійкості машин.

Провести аналіз моделей руху машин і рішення для забезпечення курсової стійкості.

Обґрунтувати шляхів покращення курсової стійкості грейдера як багатовісного транспортного засобу. Зробити висновки.

2 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ КУРСОВОЇ СТІЙКОСТІ І ОГЛЯД КРИТЕРІЇВ ЩО НА НЕЇ ВПЛИВАЮТЬ

2.1 Ходовачастина автомобіля і сили які на неї діють

Ходова частина автомобіля – це комплекс вузлів та механізмів, який виконує дві основні функції:

- забезпечення пересування транспортного засобу;
- погашення вібрацій, розгойдування, тряски та інших подібних факторів, що підвищує ресурс інших деталей автомобіля й забезпечує належний рівень комфорту для водія і пасажирів.

До ходової частини автомобіля належать:

- передня підвіска;
- задня підвіска;
- колеса.

Рушійна сила передається в площині між шиною і поверхнею дороги. Максимальна рушійна сила, яка може бути передана, залежить від максимальної сили зчеплення між шиною і поверхнею дороги. ($F_{зч}$):

$$F_{зч} = F_n * \mu \quad (2.1)$$

де F_n - нормальною силою (N) - маса автомобіля, помножена на силу тяжіння (9.81 м/с^2) H ,

μ - коефіцієнт тертя між шиною і поверхнею дороги. Між шиною і асфальтом приблизно – 1,0, мокрий асфальт, бруківка, ґрунтова дорога – 0,5, ожеледь – 0,1.

Колеса проковзують, якщо рушійна сила більша, ніж максимальна сила тертя.

На додаток до рушійної сили, діють і інші поздовжні сили, а саме:

- опір коченню. Коли шини котяться по поверхні дороги, вони деформуються. Це супроводжується витратою енергії;

- сила опору повітря. Автомобіль під час руху зміщує велику масу повітря. Переміщення повітря - це аеродинамічна сила, що діє на автомобіль;

- опір руху на підйом. Ця сила необхідна, щоб піднятися в гору. Коли транспортний засіб рухається вниз під ухил, сила тяжіння відіграє позитивну роль.

Шина деформується, тому що вона котиться по поверхні дороги. Деформація шини викликає *опір коченню*, і, отже, на це витрачається енергія. Можна розрахувати опір коченню ($F_{коч}$) використовуючи рівняння:

$$F_{коч} = F_n * f \quad (2.2)$$

Де f - коефіцієнт опору коченню приблизно, на асфальті – 0,01, бруківка – 0,015, ґрунтова дорога – 0,05, ожеледь – 0,015.

Під час руху на автомобіль можуть впливати бічні сили. Це відбувається через: рух на крутих поворотах, бічні вітри, опуклості дорожнього покриття.

Дія бічної сили передається на контактну поверхню між шиною і дорожньою поверхнею. Сила, яка протидіє бічній силі, називається утримуючою.

Якщо бічна сила стає занадто великою, протидіюча сила не може утримувати автомобіль на поверхні дороги і його починає заносити.

Коли автомобіль проїжджає поворот, шини деформуються. Найбільша деформація шини відбувається не прямо під віссю, а після неї.

Відстань між віссю обертання і точкою найбільшої деформації називається зміщенням шини рис. 1.

Бічна і утримуюча сили деформують шину. В результаті, шина перекочується в неправильному напрямку.

У місці, де шина вперше контактує з дорожньою поверхнею, центральна (осьова) лінія зміщується на відстань А-А1 через деформацію шини.

У місці під віссю обертання колеса, центральна лінія зміщується на відстань $B-B_1$ через деформацію шини. Напрямок кочення шини - це лінія, що з'єднує точки A_1-B_1 .

Кут між напрямком кочення і центральною лінією шини називається кутом відведення.

Кут відведення залежить від: типу використовуваної шини, тиску повітря в шині, тиску колеса на дорогу, позиції колеса щодо поздовжньої лінії транспортного засобу.

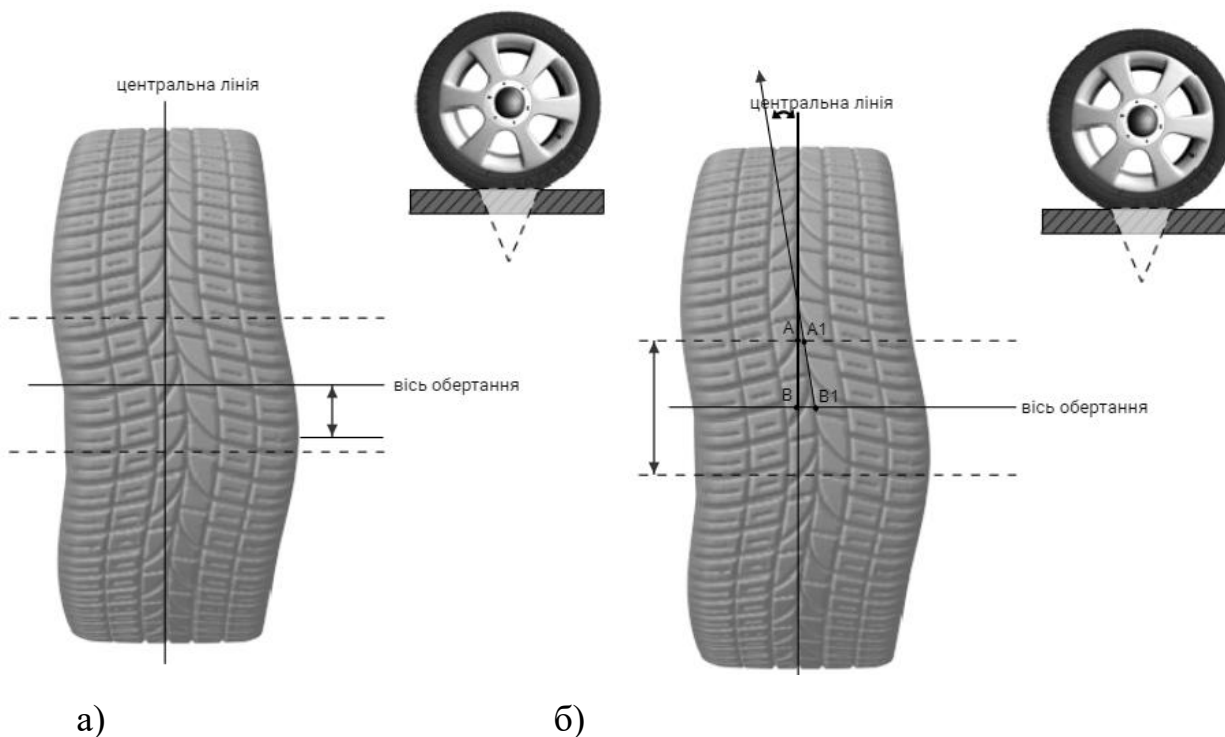


Рисунок 2.1 – Шина під час повороту: а) відставання шини, б) кут відведення.

Надлишкова керованість - ситуація, коли задні колеса описують більшу дугу, ніж передні колеса або намічена траєкторія повороту. Кути відведення задніх коліс перевищують кути відведення передніх коліс.

Недостатня керованість - це ситуація, коли передні колеса описують більшу дугу, ніж задні.

Якщо автомобіль рухається прямо, і при цьому кермо знаходиться в положенні, що відповідає прямолінійному руху, це ідеальна ситуація.

У цьому випадку лінія середини і траєкторія руху автомобіля співпадають.

- Лінія середини транспортного засобу. Вона використовується для проведення замірів та формує середню лінію шасі.

- Траєкторія руху автомобіля. Вона визначається положенням задніх коліс. Траєкторія руху знаходиться перпендикулярно до задньої осі, якщо обидва колеса знаходяться в однаковому положенні.

Якщо лінія середини транспортного засобу не збігається з траєкторією руху, задня вісь або одне із задніх коліс, не будуть під прямим кутом.

Положення задньої осі відносно передньої осі визначає напрямок руху автомобіля (рис. 2.2).

Якщо лінія середини автомобіля не збігається з траєкторією руху, Вам потрібно керувати, щоб автомобіль міг рухатися по прямій.

Різниця між лінією середини автомобіля і траєкторією руху відомі як кут розвороту заднього моста. Кут розвороту заднього моста

- позитивний, якщо траєкторія руху знаходиться справа від лінії середини автомобіля.

- негативний, якщо траєкторія руху знаходиться зліва від лінії середини автомобіля.

Чим більший кут розвороту заднього моста, тим більше водієві потрібно корегувати напрям, щоб рухатися по прямій.

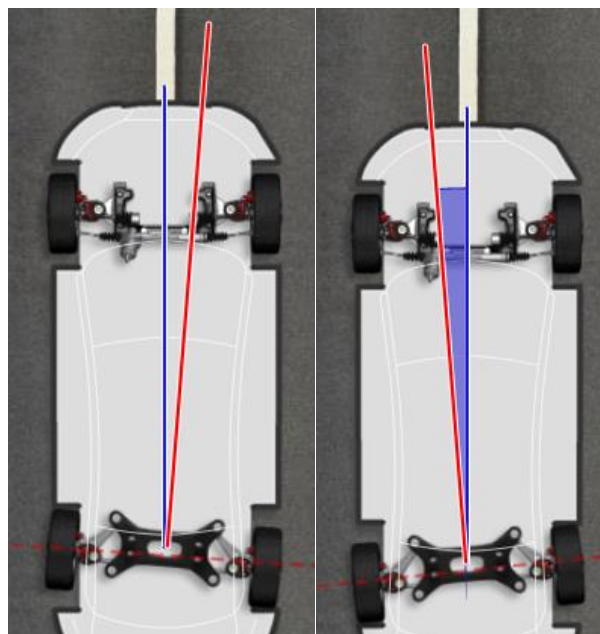


Рисунок 2.2 – Напрямок руху автомобіля, кут розвороту заднього моста.

2.2 Огляд критеріїв, які характеризують показники курсової стійкості машин

На поперечну стійкість вантажних автомобілів із напівпричепами впливають різноманітні конструктивні та експлуатаційні фактори, включаючи:

- Маса вантажного автомобіля із напівпричепом;
- Висота центра маси вантажного автомобіля із напівпричепом;
- База та ширина колії вантажного автомобіля із напівпричепом;
- Розмір шин, їх конструкція і стан;
- Радіуси кривизни та стан дорожнього покриття;
- Конструкція та стан гальм;
- Швидкість і напрямок руху;
- Навички управління вантажним автомобілем із напівпричепом та метод гальмування;
- Швидкість обертання керованих коліс при русі по повороту;
- Кут нахилу кузова вантажного автомобіля із напівпричепом.

Додатково, блокування коліс має значущий вплив на поперечну стійкість вантажних автомобілів із напівпричепами. Одночасне блокування всіх коліс може відбуватися лише на дорогах із коефіцієнтом зчеплення у межах 0,40...0,45. У разі гальмування вантажних автомобілів із напівпричепами на дорогах із коефіцієнтом зчеплення нижче 0,40, задні колеса блокуються першими, а на дорогах із коефіцієнтом зчеплення вище 0,45, блокується передні колеса.

Втрата стійкості, переважно в поздовжньому напрямку, виникає при великому зростанні буксування ведучих коліс. Під поняттям "буксування коліс" розуміється різниця у кількості обертів ведучих коліс при навантаженні та без навантаження, коли автомобіль проходить той самий шлях.

Керованість вантажних автомобілів із напівпричепами під час руху залежить від наступних факторів:

- Стабілізації керованих коліс, включаючи утримання нейтрального положення керованих коліс та їх автоматичний поворот під дією нерівностей дорожнього покриття.

- Конструктивних особливостей шин, також їх відведення.

- Маневреності автомобіля.

- Технічного стану ходової частини та рульового управління автомобіля.

- Відповідності швидкості автомобіля та кутовій швидкості повороту керованих коліс (відповідно до кваліфікації водія).

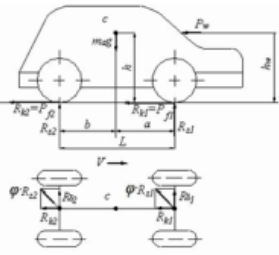
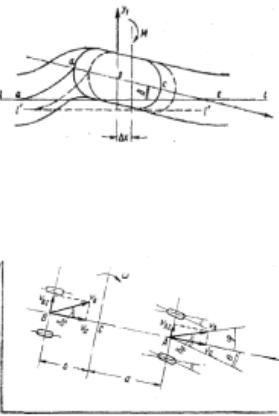
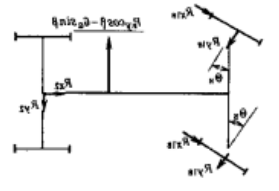
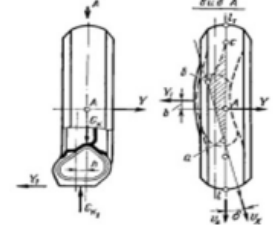
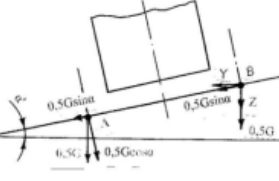
Порушення стабілізації керованих коліс, збільшення відступів у підшипниках ведучих коліс і шкворневих з'єднаннях, а також неправильна настройка рульового управління ускладнюють процес керування вантажним автомобілем із напівпричепом. Це призводить до зростання зносу шин та зниження паливної ефективності вантажного автомобіля із напівпричепом, а також погіршення безпеки руху.

Зі зменшенням тиску повітря в одній з шин коліс вантажних автомобілів із напівпричепами збільшується опір коченню та знижується бічна жорсткість шини. У зв'язку з цим вантажні автомобілі із напівпричепами під час руху постійно відхиляються у бік шини з меншим тиском повітря.

Багато досліджень у сфері курсової стійкості зосереджені на аналізі траєкторії руху транспортних засобів під впливом бічних навантажень. Ці навантаження включають відцентрові сили, що виникають під час руху транспортного засобу на повороті, складові сили тяги, що виникають при русі по поверхні з поперечним нахилом, та бічну складову головного вектора опорів на робочому органі.

У таблиці 2.1 розглянуто показники що характеризують курсову стійкість.

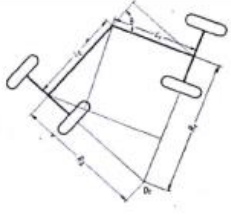
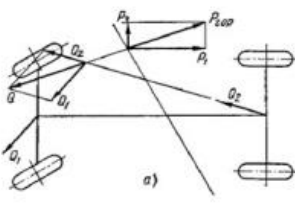
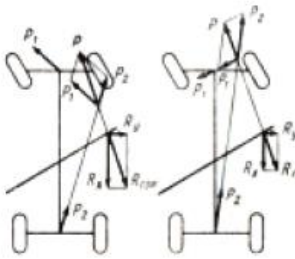
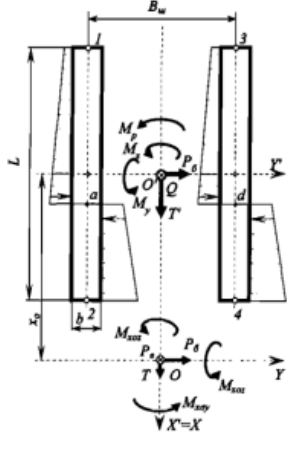
Таблиця 2.1 – Показники, що характеризують курсову стійкість.

Динамічна модель	Показник курсової стійкості
	<p>Коефіцієнт відведення:</p> $K_{yсм} = \frac{b}{a} \cdot \frac{R_{\delta 1}}{R_{\delta 2}}, \quad (1.1)$ <p>де a, b – координати проекції центру мас автомобіля на горизонтальну площину; $R_{\delta 1}, R_{\delta 2}$ – бічні реакції дороги на колесах передньої і задньої осей.</p>
	<p>Рівняння стійкості колеса:</p> $Y = k \cdot \delta, \quad (1.2)$ <p>де k – коефіцієнт опору відведенню; δ – кут відведення.</p> <p>Коефіцієнти відведення осей автомобіля</p> $K_B = \left(\frac{dY_B}{d\delta_B} \right)_{\delta_B = \delta_{Bp}}, \quad (1.3)$ $K_A = \left(\frac{dY_A}{d\delta_A} \right)_{\delta_A = \delta_{Ap}}, \quad (1.4)$ <p>де δ_B, δ_A кути між векторами напрямків швидкостей V_B, V_A і площинами коліс; Y_B, Y_A бічна реакція на відповідну вісь</p>
	<p>Умови рівноваги транспортного засобу:</p> $P_{ny} \cdot \cos \beta - G_a \cdot \sin \beta = \sum R_y, \quad (1.5)$ <p>де $\sum R_y = \sum R_{yв} + \sum R_{yп}$ – сума проекцій на поперечну вісь реакцій, що діють на колеса.</p> <p>Коефіцієнт поперечної стійкості автомобіля</p> $\eta_{ny} = \frac{B}{2h_g}, \quad (1.6)$ <p>де B – колія автомобіля; h_g – плече відносно положення центра ваги у вертикальній площині</p>
	<p>Коефіцієнт опору бічному відведенню</p> $k_y = \frac{dY}{D\delta}, \quad (1.7)$ <p>де δ – кут бічного відведення; Y – бічна сила, яка діє вздовж осі</p>
	<p>Умова рівноваги:</p> $0,5\varphi G \cdot (1 + \sin \alpha) \geq 0,5G \sin \alpha, \quad (1.8)$ <p>де G – сила ваги, яка припадає на колеса; φ – коефіцієнт бічного зчеплення шини з ґрунтом; $0,5G \sin \alpha$ – бічна сила, яка переміщує по ухилу вниз колесо</p>

Продовження таблиці 2.1

	<p>Граничний коефіцієнт зчеплення:</p> $K_m = \frac{(L - 0,5\psi_n)}{t_1}, \quad (1.9)$ $\operatorname{tg} \alpha_n = \frac{\delta_1(2L - \psi_n)}{\delta_2 + \psi_n}, \quad (1.10)$ <p>де L – поздовжня база; $\psi_n, \delta_1, \delta_2, t_1$ – допоміжні функції</p>
	<p>Умова стійкості фронтального зчеплення:</p> $a_2 = \alpha_0 R l \frac{[1 + (1-u)\rho]^2}{V_0} > 0 \text{ – коливальна стійкість}; \quad (1.11)$ $a_3 = -R l [(1-u)^2 \alpha_0 \rho + (1-u)(\alpha_0 - 1) + 1] > 0 \text{ – аперіодична стійкість};$ <p>де α_0 – силовий параметр, який характеризує відхилення X головного вектора R і зміну головного моменту M_D сил опору зчеплення пропорційно зміні кута δ; R – головний вектор і головний момент сил опору зчеплення з центром приведення в точці D; l – відстань від точки P до лінії присіднання тяг навісного обладнання до зчеплення, на якій знаходиться точка; u – передавальне відношення навісного обладнання; ρ – безрозмірне співвідношення між приведеною довжиною зчеплення і довжиною навішування; V_0 – початкова швидкість руху</p>
	<p>Коефіцієнт керованості</p> $K_{\text{кер}} = \frac{P_k}{\sum P_c}, \quad (1.12)$ <p>де P_k – керуюче зусилля; $\sum P_c$ – сума сил опору</p>
	<p>Коефіцієнт опору бічного зміщення в разі прикладення до осі колеса поперечної сили F_z:</p> $K_{yw} = \frac{F_z}{\varphi_{yw}}, \quad (1.13)$ <p>де φ_{yw} – кут відведення</p> <p>Кутова деформація шини, яка характеризується коефіцієнтом кутової жорсткості:</p> $K_\varphi = \frac{M}{\varphi}, \quad (1.14)$ <p>де M – момент, що виникає в колесі, навантаженому нормальною силою; φ – кут, що характеризує кутову жорсткість</p>

Продовження таблиці 2.1

	<p>При моделюванні руху машини на повороті не враховується поздовжнє і бічне ковзання, і не враховується бічне відведення, яке вважається не істотним.</p>
	$k_x = \frac{P_1}{P_{1\max}}, \quad (1.15)$ <p>де P_1 – гранична складова реакції ґрунту на ніж, за якої ще не втрачається стійкість ходу із даним перерозподілом опорних реакцій; $P_{1\max}$ – гранична складова реакції ґрунту на ножі, за якої ще не втрачається стійкість ходу з найвигіднішим перерозподілом опорних реакцій</p>
	<p>Коефіцієнт ступеня стійкості ходу:</p> $K_x = \frac{R_x}{R_{x\max}}, \quad (1.16)$ <p>де R_x – найбільша поздовжня складова реакції ґрунту на ніж; $R_{x\max}$ – найбільша поздовжня складова реакція ґрунту на ніж із найвигіднішим перерозподілом опорних реакцій</p>
	<p>Курсова стійкість універсальних землерийних машин оцінюється за величиною коефіцієнта курсової стійкості:</p> $k_{кс} = \frac{M_{op}}{M_p} > 1, \quad (1.17)$ <p>де M_{op} – момент, який утримує машину від розвороту; M_p – момент, який розвертає машину</p>

Висновки до розділу

Багато досліджень у сфері курсової стійкості зосереджені на аналізі траєкторії руху транспортних засобів під впливом бічних навантажень. Ці навантаження включають відцентрові сили, що виникають під час руху транспортного засобу на повороті, складові сили тяги, що виникають при русі

по поверхні з поперечним нахилом, та бічну складову головного вектора опорів на робочому органі.

Курсова стійкість транспортних машин під час руху на повороті була детально розглянута в ряді досліджень, де для оцінки цієї стійкості використовується коефіцієнт відведення. Цей коефіцієнт визначається як відношення бічних реакцій дороги на передню і задню осі, і рекомендується для використання при оцінці стійкості машини на повороті [11].

Також запропоновано окремий коефіцієнт курсової стійкості (див. Таблицю 2.1, пункт 2), який обчислюється за допомогою диференціальних рівнянь для передньої і задньої осі. Стійкість колеса в цьому випадку пропорційна його куту відведення та коефіцієнту опору відведенню [16].

Аналізуючи питання бокового ковзання коліс, дослідники вивели рівняння рівноваги поперечних сил і визначили курсову стійкість через коефіцієнт поперечної стійкості автомобіля (див. Таблицю 2.1, пункт 3), що залежить від геометричних параметрів машини [12].

Також є методика використання коефіцієнта опору бічному відведенню колеса для оцінки курсової стійкості транспортного засобу. Цей коефіцієнт залежить від кута бічного зміщення і бічної сили, яка діє вздовж осі колеса (див. Таблицю 2.1, пункт 4) [12].

Основною особливістю конструкції сільськогосподарської техніки є присутність додаткового робочого обладнання. При оцінці курсової стійкості таких машин вчені враховують кут поперечного нахилу опорної поверхні, наявність шарнірних з'єднань між рамними конструкціями базового колісного трактора, а також шарнірне з'єднання між машиною і робочим обладнанням. Крім того, критерії курсової стійкості чітко залежать від величини бокової складової сил опору на робочому органі. Пропонується використовувати як критерій курсової стійкості умови рівноваги машини в бічному напрямку. Запропонована залежність для основних характеристик враховує власну вагу машини, кут поперечного ухилу і коефіцієнт бокового зчеплення коліс з ґрунтом (див. Таблицю 2.1, пункт 5) [17].

Для оцінки курсової стійкості Т. В. Циганков рекомендує використовувати граничний коефіцієнт зчеплення, що залежить від поздовжньої бази машини (див. Таблицю 2.1, пункт 6) [16].

І. Є. Донцов досліджує рух сільськогосподарської машини з фронтальним робочим органом, приділяючи особливу увагу коливальній і аперіодичній стійкості фронтального обладнання (див. Таблицю 2.1, пункт 7) [13].

М. П. Артёмов вивчає рух шарнірно-зчленованої сільськогосподарської машини з робочим обладнанням, враховуючи сили, що діють на саме обладнання. Автор пропонує розраховувати коефіцієнт керованості як відношення керуючого зусилля до сил опору з урахуванням бічних зусиль, які діють на сільськогосподарське обладнання (див. Таблицю 2.1, пункт 8) [7].

Цілком природно, що в рамках теоретичного аналізу руху колеса при дії поперечної сили коефіцієнт бічного зміщення колеса є пропорційним відношенню вище вказаної сили і кута відведення (див. Таблицю 2.1, пункт 9) [18].

Деякі дослідники (див. Таблицю 2.1, пункт 10) [39] стверджують, що при розробці математичної моделі руху машини з шарнірно-зчленованою рамою показники, що визначають курсову стійкість, є несуттєвими.

Дослідження, проведені в галузі землеробсько-транспортної техніки, свідчать про те, що коефіцієнти, які описують курсову стійкість, безпосередньо залежать від граничних сил, що діють на робочий орган і можуть викликати втрату стійкості (див. Таблицю 2.1, пункти 11–12) [14, 15].

Для гусеничних машин цей коефіцієнт характеризується відношенням моменту, який утримує машину від розвороту, до моменту, який її розвертає (див. Таблицю 2.1, пункт 13) [13].

3 АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ РУХУ МАШИН І РІШЕННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КУРСОВОЇ СТІЙКОСТІ

3.1 Аналітичні моделі процесу формування траєкторії руху машини

Дослідження, присвячені курсовій стійкості і керованості рухомих машин, в основному аналізують форму траєкторій руху. Роботи Д.М. Клеца розглядають аспекти криволінійного руху автомобіля [11]. У його математичній моделі особливість полягає в урахуванні коливань машини в поздовжньому і поперечному напрямках (рисунок 3.1), що впливає на розподіл опорних реакцій на колесах і, відповідно, змінює тягові зусилля на ведучу вісь. Цей підхід дозволяє більш точно описати траєкторію руху автомобіля під час повороту.

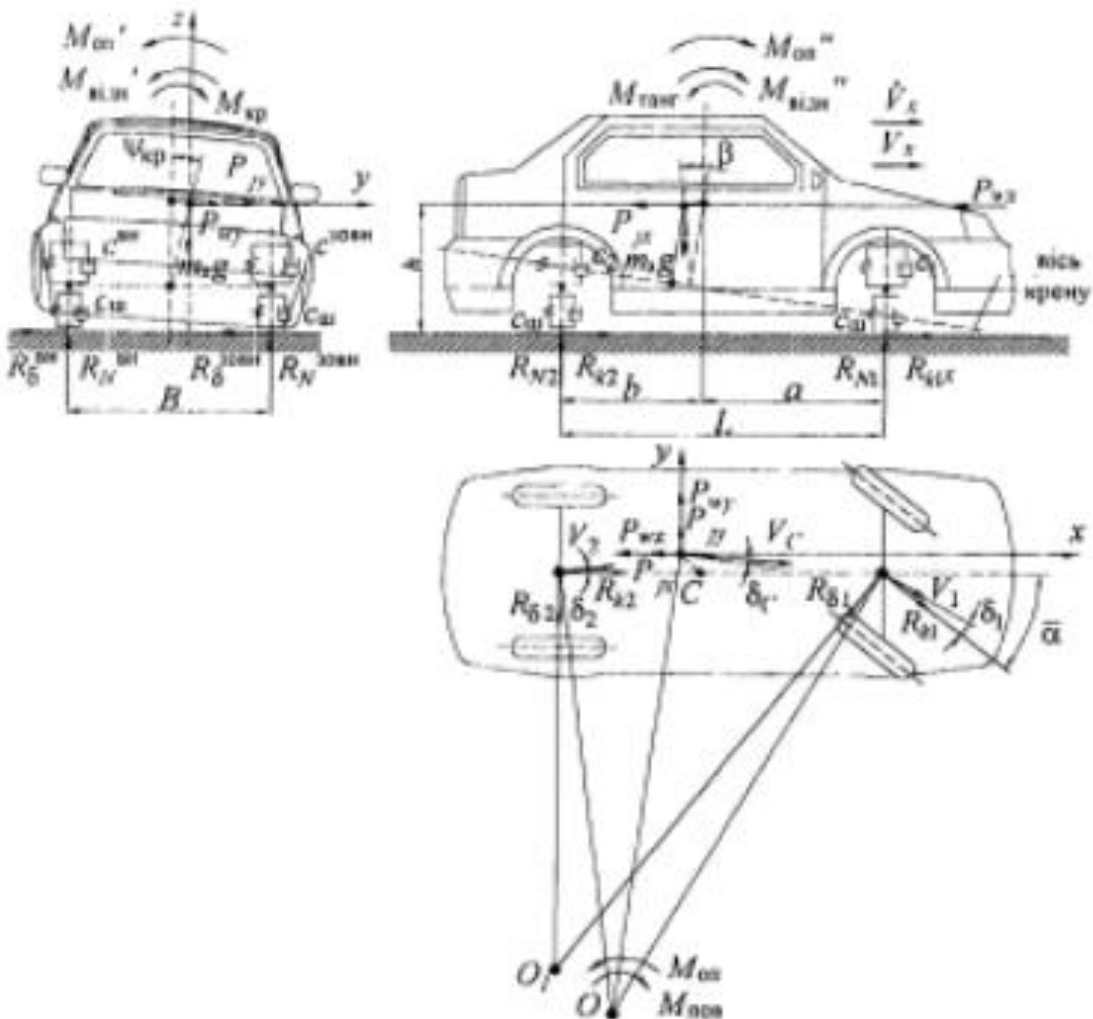


Рисунок 3.1 – Динамічна модель руху автомобіля

$$\left\{ \begin{aligned}
 & 2 \left[\frac{m_a}{2} + \frac{l_K}{2r_x^2} + \frac{l_z}{2R^2} \right] \dot{V}_{x1} = (m_x \cdot \varphi_x \cdot G - 0,5 \cdot C_x \cdot \rho \cdot F \cdot V_{x1}^2) \frac{h-r}{L} \varphi_x (1 - \cos \bar{\alpha}) - \\
 & \quad - \frac{h-r}{L} \varphi_y \sin \bar{\alpha} (m_x \cdot \varphi_x \cdot G - 0,5 \cdot C_x \cdot \rho \cdot F \cdot V_{x1}^2) - \\
 & \quad - P_{Cx} - \left[\varphi_x (a + b \cos \bar{\alpha}) + \varphi_y b \sin \bar{\alpha} \right] \frac{G}{L}; \\
 & I_x \cdot \ddot{\psi}_{кр} - 0,5 \cdot \mu \cdot B^2 \cdot \dot{\psi}_{кр} - (c_1 + c_2 - m_a g \cdot h_{кр}) \cdot \psi_{кр} = -P_{Cy} \cdot h_{кр}; \\
 & I_y \cdot \ddot{\beta} + 2 \cdot \mu \cdot (a^2 + b^2) \cdot \dot{\beta} + (c_1 + c_2 - m_a g \cdot h_{кр}) \cdot \beta = -P_{Cx} \cdot h_{кр}.
 \end{aligned} \right. \quad (3.1)$$

У наукових працях В.А Горелова розроблені та досліджені математичні моделі руху багатоланкових багатовісних колісних комплексів [23, 24, 25, 26]. Побудову математичної моделі прямолінійного руху колісного комплексу розглянуто на прикладі тривісного тягача, який має можливість реалізації індивідуального, диференційного та блокованого привода коліс, а також тривісного причепа у веденому режимі. Розрахункова схема автопоїзда, представлена на рисунку 3,2, враховує характер розв'язуваної задачі і описується наступними рівняннями руху для тягача (3.2) і причепа (3.3):

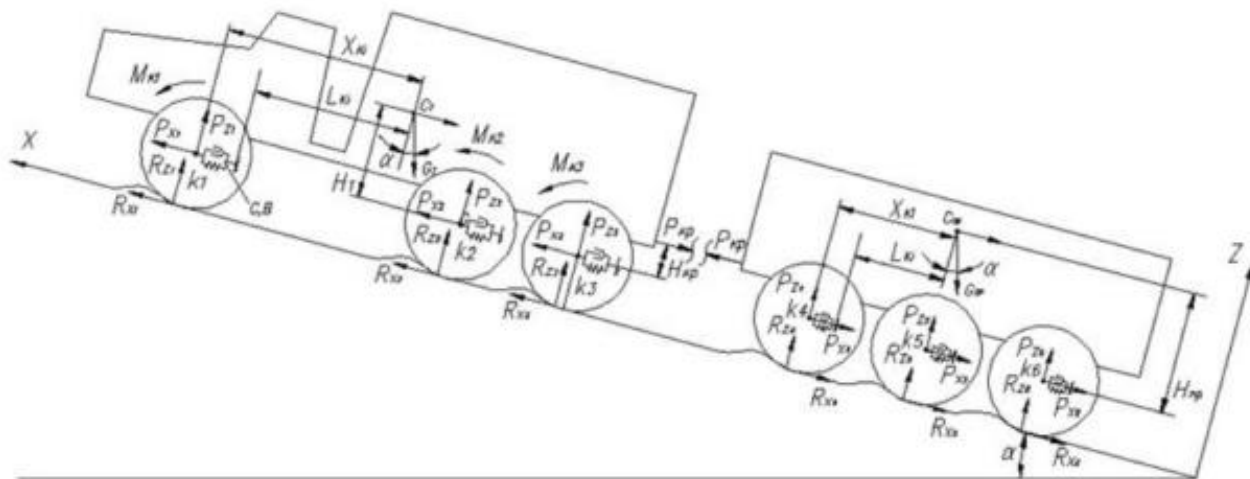


Рисунок 3.2 – Схема руху автопоїзда

$$\begin{aligned}
 m_T \cdot \dot{V}_{X_T} &= 2 \cdot \sum_{i=1}^5 P_{X_i} - m_T \cdot g \cdot \sin(\alpha) - P_{KP}, \\
 I_{ki} \cdot \dot{\omega}_{ki} &= M_{Ki} - (1 - S_{Bi}) \cdot (f_{wi} + \varphi_i) \cdot R_{Zi} \cdot r_{Ko}, \\
 m_{Ki} \cdot a_{XKi} &= \varphi_i \cdot R_{Zi} - P_{Xi} - m_{Ki} \cdot g \cdot \sin(\alpha);
 \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned}
 m_{\text{ПП}} \cdot \dot{V}_{X_{\text{ПП}}} &= -2 \cdot \sum_{i=4}^j P_{X_i} - m_{\text{ПП}} \cdot g \cdot \sin(\alpha) + P_{\text{КР}}, \\
 I_{ki} \cdot \dot{\omega}_{ki} &= \frac{1}{(1 - S_{Bi})} \cdot (\varphi_i - f_{wi}) \cdot R_{Zi} \cdot r_{Ko}, \\
 m_{Ki} \cdot a_{XKi} &= P_{X_i} - \varphi_i \cdot R_{Zi} - m_{Ki} \cdot g \cdot \sin(\alpha).
 \end{aligned}
 \tag{3.3}$$

М.П. Артёмов [7] проводив дослідження руху колісного тягача з шарнірно-зчленованою конструкцією, який мав причіпне робоче обладнання (рисунок 3.3). Математична модель системи рівнянь руху для цього агрегату була створена на основі рівнянь Лагранжа другого роду, відносно нерухомої системи координат. Цікавою особливістю цієї математичної моделі є врахування зазорів (люфтів) у гідравлічній системі кермового управління трактора.

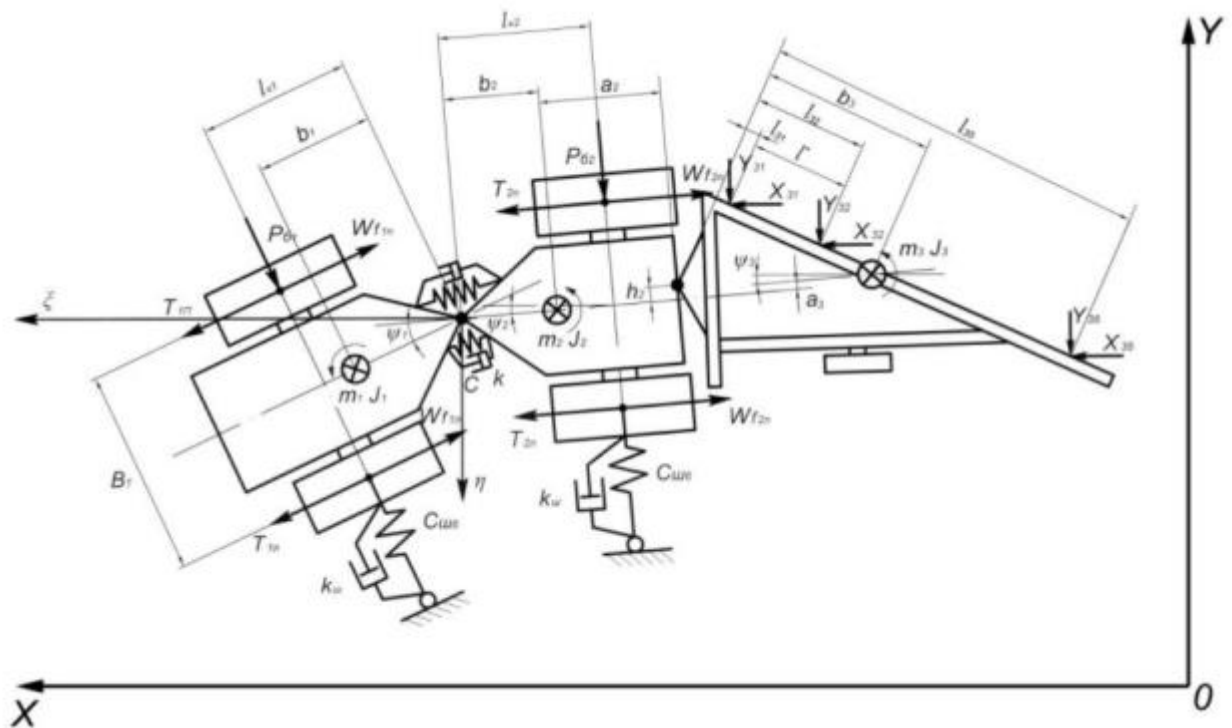


Рисунок 3.3 – Схема зчленована

$$\left. \begin{aligned}
 m\ddot{\xi} + C_1\ddot{\psi}_1 + D_1\ddot{\psi}_2 + E_1\ddot{\psi}_3 + F_1 &= G_1 \\
 m\ddot{\eta} + C_2\ddot{\psi}_1 + D_2\ddot{\psi}_2 + E_3\ddot{\psi}_3 + F_2 &= G_2 \\
 C_1\ddot{\xi} + C_2\ddot{\eta} + C_3\ddot{\psi}_1 + F_3 &= G_3 \\
 D_1\ddot{\xi} + D_2\ddot{\eta} + D_4\ddot{\psi}_2 + E_4\ddot{\psi}_3 + F_4 &= G_4 \\
 E_1\ddot{\xi} + E_2\ddot{\eta} + E_4\ddot{\psi}_2 + E_5\ddot{\psi}_3 &= G_5
 \end{aligned} \right\}
 \tag{3.4}$$

3.2 Огляд рішень, які забезпечують курсову стійкість

Для покращення стійкості та керованості багатовісних автомобілів проводяться дослідження у таких напрямках:

- Вдосконалення експлуатаційних та конструктивних параметрів.
- Удосконалення методів оцінки стійкості та керованості.
- Моделювання руху вантажних автомобілів з напівпричепами в складних дорожніх умовах.
- Розробка систем керування динамікою руху вантажних автомобілів із напівпричепами.

Сучасні методи покращення курсової стійкості технічних засобів представлені на рисунку 3.4



Рисунок 3.4 – Сучасні методи покращення курсової стійкості

Один із передових методів управління рухом машини використовує сучасні навігаційні системи, такі як GPS, GALILEO та інші [19]. Структурна схема автоматизованої системи управління рухом подана на рисунку 3.4.



Рисунок 3.5 – Схема супутникової автоматизованої системи керування рухом

Перевагами цих систем включають в себе високу точність (відхилення від запланованої траєкторії не перевищує декількох сантиметрів) [11] та можливість повної автоматизації процесу переміщення машини під час виконання технологічної операції. Серед відомих виробників таких пристроїв є компанії Trimble, Leica Geosystems Case, Topcon Positioning Inc [13, 12, 16].

Проте, серед недоліків систем супутникового автоматизованого управління можна відзначити таке:

- Устаткування може бути встановлене тільки на сучасних машинах з електрогідравлічними системами, що ускладнює встановлення на машини із іншими системами та не відповідає їх технічним вимогам.

- Висока вартість обладнання порівняно з вартістю самої машини, що значно збільшує вартість виробництва.

Отже, перед встановленням та використанням систем супутникової навігації необхідно провести ретельний конструкторський і економічний аналіз.

Деякі дослідники рекомендують встановлювати додаткове робоче обладнання, яке здатне компенсувати бічні сили, що діють з боку основного робочого органу [1, 16, 17]. Для автогрейдерів пропонується встановлювати додатковий відвал разом з основним, який, використовуючися під час планувальних операцій, розвертається в напрямку, протилежному до кута встановлення основного відвала.

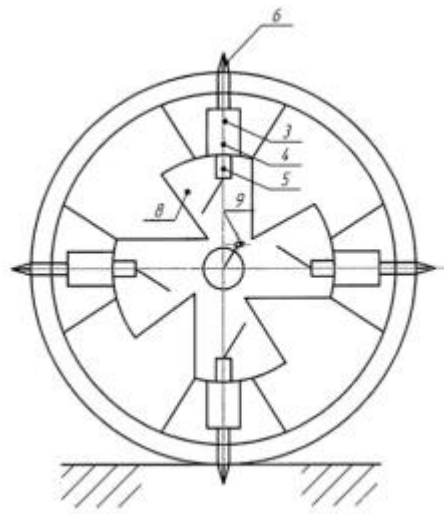


Рисунок 3.6 – Пристрій для усунення бокових зміщень

Деякі дослідники рекомендують змінювати положення центра ваги для утримання машини на запланованій траєкторії руху.

Для сільськогосподарських машин розроблено системи автоматичного підрулювання, такі як UniDrive (Угорщина), автопілот GeoSteer від фірми AgLeader, автопілот SmarTrax MD від фірми Raven та інші. Ці пристрої дозволяють уникнути пропусків і перекосів під час проведення сільськогосподарських робіт [7, 13].

Крім автоматичного регулювання кута повороту керованих коліс у горизонтальній площині, для запобігання бічного зміщення машини використовується метод нахилу коліс у вертикальній площині під час роботи на ухилі [14]. Цей метод був використаний у багатьох землерийно-транспортних машинах [9, 13]. Прикладом такої системи є передній керований

міст автогрейдера, який може регулювати положення керованих коліс машини в залежності від поперечного ухилу опорної поверхні, як показано на рисунку 3.7 [9]. Для стабілізації траєкторії руху машини встановлена система, яка слідкує та дозволяє змінювати нахил керованих коліс у вертикальній площині в залежності від кута поперечного ухилу поверхні.

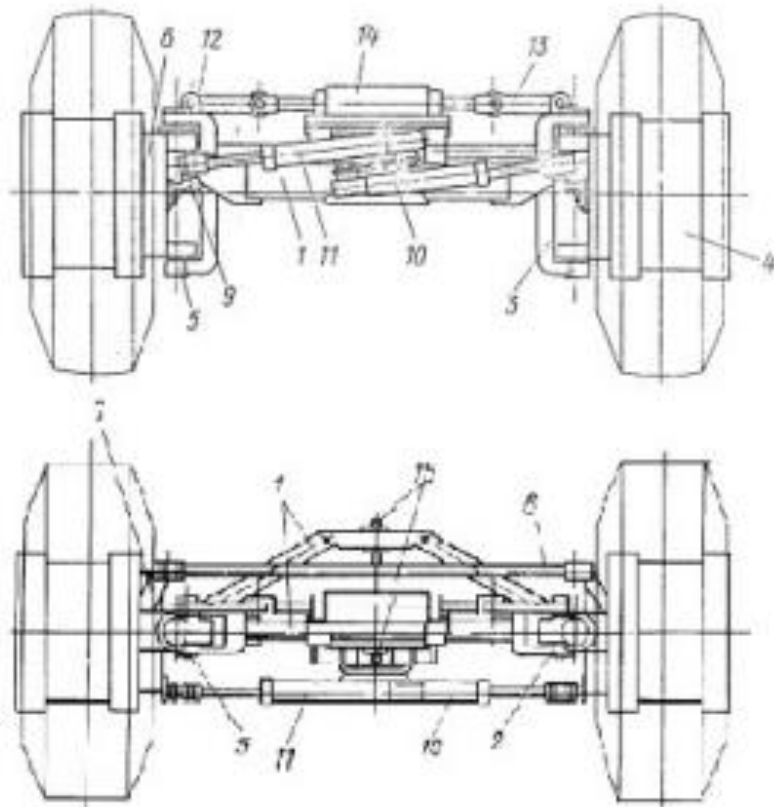


Рисунок 3.7 – Передній керований міст автогрейдера: 1 – стрижень; 2 – точкові з'єднання; 3 – важелі для нахилу коліс; 4 – колеса; 5 – кріпильний елемент; 6 – опорна втулка; 7 – обертові важелі; 8 – поперечна рульова тяга трапеції; 9 – важелі, пов'язані з гідравлічними циліндрами; 10, 11 – гідравлічні циліндри; 12 – точковий шарнір; 13 – поперечна тяга; 14 – двоступеневий гідравлічний циліндр; 15 – шарнір.

Висновки до розділу

На основі проведеного аналізу можна зробити наступні висновки:

1. Проблема курсової стійкості, пов'язана з відхиленням машини від запланованої траєкторії під час руху, активно досліджується.

2. Критерієм курсової стійкості найчастіше пропонується використовувати коефіцієнт, рівний відношенню утримуючих зусиль до дестабілізуючих зусиль.

3. Для дослідження процесів втрати курсової стійкості використовуються динамічні схеми, які дозволяють описати траєкторію руху машини в опорній площині. Математичні моделі руху машин складаються на основі рівнянь динаміки або рівнянь Лагранжа II роду, враховуючи припущення і спрощення, характерні для динаміки великих переміщень.

4. Проводяться дослідження для різних ситуацій, таких як рух машини по поверхні з поперечним ухилом чи по криволінійній траєкторії. При моделюванні траєкторії руху сільськогосподарських машин враховуються вплив поздовжніх і поперечних сил на робочому обладнанні, що шарнірно приєднане до задньої частини тягача.

5. Зазначені підходи частково не враховують режими навантаження землерийно-транспортних машин (ЗТМ), зокрема, автогрейдерів. Це викликано конструктивними особливостями автогрейдерів, які впливають на характер навантаження, такими як розташування відвала і конструкція кріплення до рами.

6. Конструктивні методи для стабілізації траєкторії руху машини поділяються на три групи: системи автоматичного управління на основі супутникової інформації, бортові системи автоматичного регулювання з використанням даних від датчиків на самій машині, та додаткові механічні пристрої для впливу на параметри машини і навколишнє середовище.

7. Розробка та встановлення простих механічних систем може бути більш раціональним підходом, оскільки системи автоматичного управління часто потребують використання дорогих електрогідравлічних систем. Необхідно провести додаткові дослідження для обґрунтування параметрів таких систем з метою покращення курсової стійкості автогрейдера.

4. ОБГРУНТУВАННЯ ШЛЯХІВ ПОКРАЩЕННЯ КУРСОВОЇ СТІЙКОСТІ ГРЕЙДЕРА

4.1 Покращення курсової стійкості грейдера

Характеристики автогрейдера ДЗк-251,0 показані у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики автогрейдера ДЗк-251,0

Параметри	Значення
Потужність двигуна, кВт	121,4
Номінальна частота обертання колінчастого вала двигуна, об/хв	2000
Тип трансмісії	Гідромеханічна
Експлуатаційна маса, кг	16000
Колія, мм	2115
База, мм	6160
Ширина відвала, мм	3740
Переміщення відвала відносно тягової рами, мм	800
Висота центра ваги, мм	1140
Відстань від центра ваги до передньої осі, мм	4435

Методика інженерного вибору оптимальних значень кутів встановлення передніх коліс автогрейдера для забезпечення стійкості в курсі показана на рис 4.1.

Попередній аналіз підтверджує, що обдуманий підбір значень кутів встановлення передніх коліс дозволяє досягти необхідного рівня курсової стійкості автогрейдера. Схему цього підходу можна знайти на рисунку 4.2.

За допомогою запропонованого підходу можна досягти необхідного рівня курсової стійкості шляхом зміни координат прикладання головного вектора опорів або зміни кутів встановлення. У випадках, коли зміни характеристик процесу різання і переміщення ґрунту неможливі, найбільш ефективним є

одночасне змінення кута нахилу у вертикальній площині і повороту в горизонтальній площині передніх коліс.

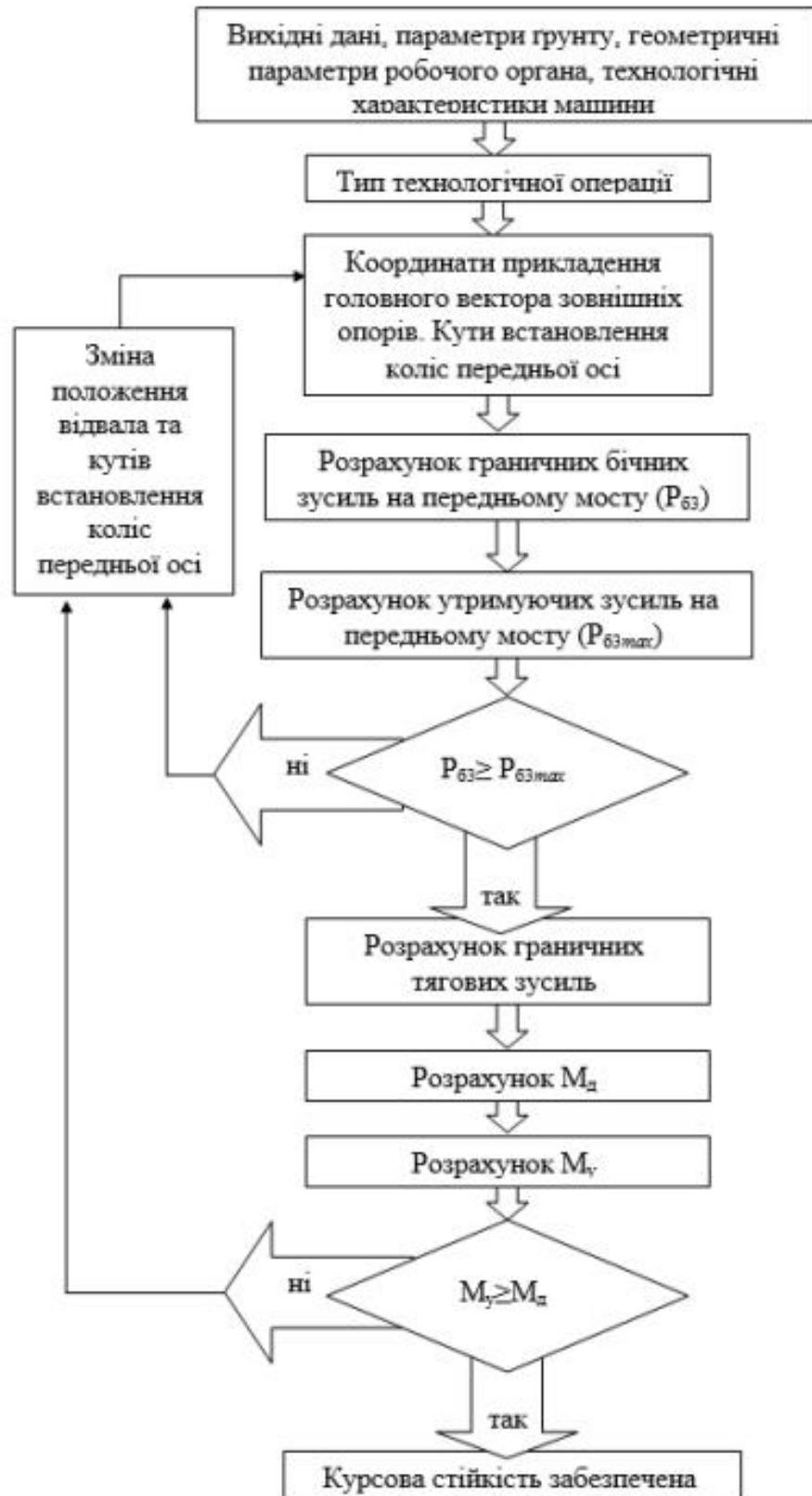


Рисунок 4.1 – Методика інженерного вибору оптимальних значень кутів встановлення передніх коліс автогрейдера для забезпечення стійкості в курсі

Для досягнення стабілізації траєкторії руху, зокрема у випадку автогрейдерів, пропонується гідравлічна система яка дозволяє моніторити відмінності в кількості обертів коліс лівого та правого бортів балансірного візка та автоматично коригувати кут нахилу (рисунок 4.2) або поворот передніх коліс (рисунок 4.3).

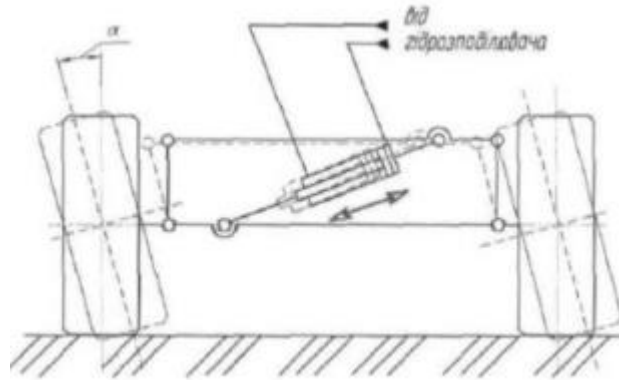


Рисунок 4.2 – Автоматично коригувати кут нахилу

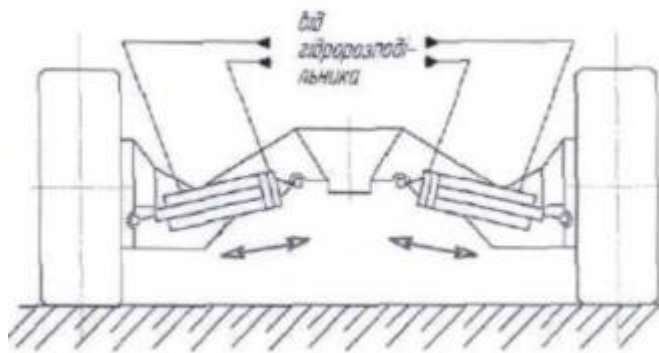


Рисунок 4.3 – Автоматично коригувати поворот передніх коліс

Запропонована методика дозволяє розрахувати значення таких параметрів, як кут повороту передніх коліс у горизонтальній площині і кут їх нахилу у вертикальній площині. Це дозволяє навіть при асиметричному прикладенні зовнішніх навантажень утримувати автогрейдер на прямолінійній траєкторії руху. Отримані дані можуть слугувати основою для розробки автоматичних систем, які забезпечують стабільність траєкторії руху автогрейдера.

Щодо конструктивних рішень, які гарантують курсову стійкість автогрейдера, пропонуємо гідравлічну систему яка дозволить моніторити відмінності в кількості обертів коліс лівого та правого бортів балансірного

візка та автоматично коригувати кут нахилу (рисунок 4.2) або поворот передніх коліс (рисунок 4.3).

Нахил коліс сприяє зменшенню площини контакту колеса з ґрунтом, що збільшує тиск у зоні контакту колеса з ґрунтом. За рахунок деформації опорної поверхні при зміщенні передніх коліс у бік додатково до сил тертя виникають зусилля різання ґрунту самим колесом, що спричиняє збільшення утримуючого моменту в горизонтальній площині. Крім того, під час нахилу коліс, за рахунок асиметричного зміщення центра обертання колеса відносно центра опорної поверхні, виникає додатковий утримуючий момент.

Для забезпечення стабілізації траєкторії руху автогрейдера [15] рекомендується підвищити бічні утримуючі сили на колесах за допомогою використання додаткових ґрунтозачепів. Ці ґрунтозачеми мають форму T і, під час їх взаємодії з ґрунтом, підвищують коефіцієнт зчеплення, що призводить до зменшення бічного зсуву.

4.2 Очікуваний економічний ефект

У процесі роботи, при виконанні зведення доріг, обмежено відхилення від заданих координат майбутньої дороги. До цього часу, для збереження ширини смуги дороги, оператор автогрейдера коригує напрямок руху, використовуючи бічне зміщення машини. Проте оператору важко фіксувати це, враховуючи розміри машини. Це призводило до того, що розробка заданої смуги вимагала 2–3 зворотно-поступальних рухів з бічним зміщенням більше 0,5 м.

Запропонована система дозволяє виявляти явище буксування лівого чи правого боку задніх осей і, за допомогою поліпшеної конструкції колісних півосей, генерує керуючий сигнал. Отриманий керуючий сигнал сприяє перемиканню розподільника і подачі рідини до робочої порожнини виконавчого гідроциліндра нахилу коліс передньої осі автогрейдера. Гідроциліндр змінює нахил колісного обладнання, що створює протидію

дестабілізуючому моменту в горизонтальній площині, дозволяючи утримати машину на запланованій траєкторії.

Отже, система коригування траєкторії руху дозволяє під час технологічної обробки робочої ділянки автогрейдером уникнути бокового зміщення, зменшити коефіцієнт перекриття проходів під час копання, зменшити кількість корегувальних рухів та підвищити продуктивність.

Розрахунок економічного ефекту від використання автогрейдера з покращеними якісними характеристиками здійснюється за формулою

$$\Xi = [Ц_n \cdot (V_2 - V_1) - (З_2 - З_1)] \cdot T_n \cdot N_n, \quad (4.1)$$

$З_1$ і $З_2$ - це приведені витрати на одну годину роботи для відповідно існуючого і нового варіантів експлуатації автогрейдера, в гривнях;

V_1 і V_2 - обсяги продукції за існуючим і новим варіантами експлуатації автогрейдера, в кубічних метрах на годину;

$Ц$ - ціна продукції, в гривнях за кубічний метр;

T - нормований обсяг робіт, в машинно-годинах;

N - кількість машин.

Таблиця 4.1 – Економічні показники

№ з/п	Показник	Одиниці виміру	Базова машина	Модернізована машина
1	Собівартість машино-години	грн/год	2011	2034
2	Річні поточні витрати споживача	грн/р.	3654257,75	3695520,5
3	Кількість маш.-год роботи техніки	маш.-год	1817	1817
4	Ціна одиниці продукції	грн/м ³	162,87	162,87
5	Річна експлуатаційна продуктивність	м ³ /р.	25801,4	28272,5
6	Річний прибуток	грн	4202396,5	4604880
7	Економічний ефект	грн/год	548138	909359
8	Приріст економічного ефекту	грн/р.	361220	

Висновки до розділу

Інженерний метод визначення та коригування параметрів курсової стійкості автогрейдера дозволяє виявити можливість бічного зміщення та обертання автогрейдера навколо точки блокування відвала, а також підібрати оптимальні кути встановлення коліс передньої осі, що забезпечують необхідний рівень показників курсової стійкості автогрейдера.

Річний економічний ефект від впровадження розробленого методу корекції траєкторії руху автогрейдера в організаціях-експлуатаційниках становить у середньому 361,220 гривень на одну машину за рік.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Аналіз травмонебезпечних ситуацій та вимоги безпеки під час експлуатації обладнання

Виробничий травматизм зумовлений організаційними, технічними, психофізіологічними та санітарно-гігієнічними причинами. Аналіз виробничого травматизму дозволяє не лише виявити причини, а визначити закономірності їх виникнення. На основі такої інформації розробляються заходи та засоби щодо профілактики травматизму [18].

Для аналізу виробничого травматизму застосовують багато різноманітних методів, основні з яких можна поділити на такі групи: статистичні, топографічні, монографічні, економічні, анкетування, ергономічні, психофізіологічні, експертних оцінок та інші [17].

Причини виробничого травматизму поділяються на такі основні групи: організаційні, технічні, санітарно-гігієнічні, економічні, психофізіологічні.

Чинники та обставини, які впливають на хід подій за час від початкової до небажаної події можуть бути такими:

Наявність струму на корпусі світильника:

а) відсутність захисного заземлення:

- не виконувалося заземлення;
- пошкоджено захисне заземлення.

б) пошкодження ізоляції :

- відсутність профілактичних заходів;
- неправильна експлуатація.

Дотик обслуговуючого персоналу оголеними частинами тіла до корпусу світильника:

а) недотримання правил техніки безпеки:

- відсутність захисної огорожі;

- недотримання вимог щодо спецодягу обслуговуючого персоналу;
- невиконання правил техніки безпеки;
- б) невикористання засобів індивідуального захисту:

- халатність працівника;
- недостатній контроль працівників.

Отже, Такі чинники, відсутність засобів індивідуального захисту, невиконання профілактичних заходів щодо огляду робочого місця, нехтування правилами техніки безпеки можуть бути причиною травмування робочого персоналу.

Для нашого випадку можливими заходами та засобами запобігання дії шкідливого чинника є:

- проведення профілактичних заходів;
- завчасне проведення інструктажів з охорони праці.

Після обчислення ймовірностей всіх подій, починаючи з лівої нижньої гілки "дерева", позначаємо номерами всі випадкові події, що увійшли до даної моделі. Потім модель представляємо до математичного виконання ймовірностей випадкових подій, застосовуючи формули [16].

Вимоги безпеки до початку роботи:

- Заземлення є обов'язковим!
- Перевірити надійність заземлення електросвітильника і електрощитів.
- Опір ізоляції відносно землі електрично зв'язаних кіл повинен бути не менше 1,0 МОм.
- Опір ізоляції вимірюється мегомметром 1000-2500В.
- Перевірити візуальну справність органів контролю індикації,.
- Уважно оглянути робоче місце, привести його в порядок. Забрати всі предмети, що заважають роботі. Робочий інструмент, пристосування і допоміжний матеріал, перевірити їхню справність.

Вимоги безпеки під час роботи :

- Управління роботою освітлення у заданому режимі відбувається автоматично.

-При огляді працюючої системи освітлення забороняється виконувати любі роботи в системі автоматики і захисту і вимірювальних приладах.

-Не доторкатися голими руками до неізольованих поверхонь трубопроводів подачі гарячої води.

5.2 Планування заходів з покращення охорони праці

Основні заходи щодо попередження та усунення причин виробничого травматизму бувають на організаційні та технічні.

До технічних заходів належать заходи з виробничої санітарії та техніки безпеки.

Заходи з виробничої санітарії передбачають організаційні, гігієнічні та санітарно-технічні заходи та засоби, що запобігають дії на працюючих шкідливих виробничих чинників. Це створення комфортного мікроклімату шляхом влаштування відповідних систем опалення, вентиляції, теплоізоляція конструкцій будівлі та технологічного устаткування; заміна шкідливих речовин та матеріалів нешкідливими; герметизація шкідливих процесів; зниження рівнів шуму та вібрації; встановлення раціонального освітлення; забезпечення необхідного режиму праці та відпочинку, санітарного та побутового обслуговування [18].

До організаційних заходів належать: правильна організація роботи, навчання, контролю та нагляду з охорони праці; дотримання трудового законодавства, законодавчих та інших нормативно-правових актів з охорони праці; впровадження безпечних методів та наукової організації праці; проведення оглядів, лекційної та наочної агітації та пропаганди з питань охорони праці; організація планово-попереджувального ремонту устаткування, технічних оглядів та випробувань транспортних та вантажопідіймальних засобів, посудин, що працюють під тиском [16].

5.3 Моделювання процесів формування і виникнення небезпечних ситуацій під час експлуатації обладнання

Після обчислення ймовірностей всіх подій, починаючи з лівої нижньої гілки "дерева", позначаємо номерами всі випадкові події, що увійшли до даної моделі.

Кожна випадкова подія, до якої входять базові події, може формуватися й виникати при входженні у неї двох, трьох і більше базових подій за допомогою відповідних операторів.

Таблиця 5.1 – Ймовірності подій виникнення небезпеки

Шифр	Назва події	Ймовірність
P ₁	Відсутність захисного заземлення	0,04
P ₂	Пошкодження захисного заземлення	0,03
P ₃	Пошкодження ізоляції	0,1
P ₄	Неправильна експлуатація обладнання	0,02
P ₅	Відсутність профілактичних заходів	0,1
P ₆	Відсутність захисного щита	0,2
P ₇	Незнання правил техніки безпеки	0,09
P ₈	Недотримання правил техніки безпеки	0,1
P ₉	Відсутність засобів індивідуального захисту	0,3
P ₁₀	Халатність	0,06

Складемо логіко імітаційна модель процесу виникнення травм при роботі з електроопаленням (рис.5.1).

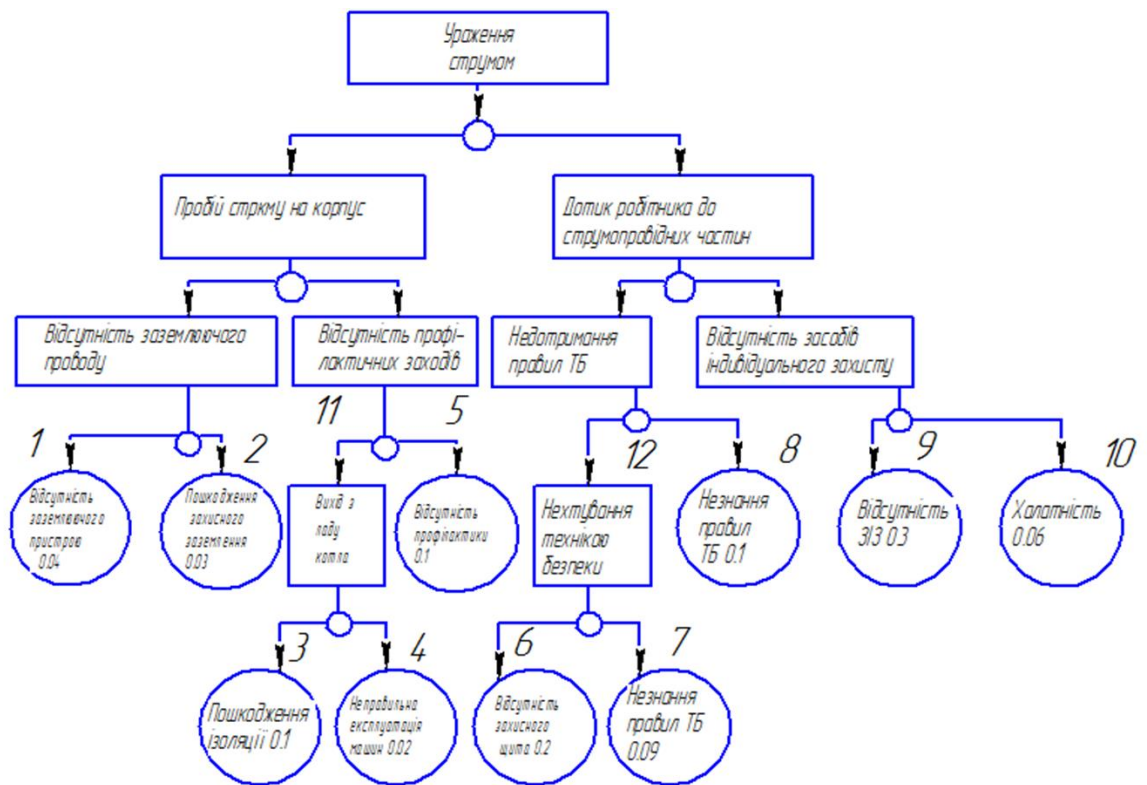


Рисунок 5.1 – Логіко імітаційна модель процесу виникнення травм при роботі з електрообладнанням.

Нехай дві базові події з ймовірністю "I" входять у наступну третю подію. Тоді ймовірність виникнення цієї події P_3 можна визначити так:

$$P_3 = P_1 + P_2 \quad (5.1)$$

Оператор "I" об'єднує n події з ймовірностями P_1, P_2, \dots, P_n . Тоді ймовірності вихідної події P буде:

$$P_3 = P_1 \times P_2 \times \dots \times P_n \quad (5.2)$$

Дві базові події з ймовірностями P_1 і P_2 за допомогою оператора "Або", входять до третьої події. Тоді ймовірність P_3 буде.

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \times P_2 \quad (5.3)$$

Оператор "Або" об'єднує 3 базові події з ймовірностями P_1, P_2, P_3 , які за допомогою цього оператора входять у наступну подію з ймовірністю P_4 . Тоді ймовірність цієї події можна визначити за формулою:

$$P_4 = P_1 + P_2 + P_3 - P_1 P_2 - P_1 P_3 - P_2 P_3 + P_1 P_2 P_3 \quad (5.4)$$

За допомогою даних залежностей ми проводимо розрахунок ймовірності виникнення травми про роботі з електроосвітленням. Ймовірність виникнення

вихідних подій задаємо умовно. Підставивши дані ймовірностей базових подій у формулу (4.4), Отримаємо ймовірність події 13:

$$P_{13} = 0,03 + 0,01 - 0,03 \cdot 0,01 = 0,0397.$$

Аналогічно визначаємо ймовірність інших подій:

$$P_{11} = P_4 + P_5 - P_4 \times P_5; \quad (5.5)$$

$$P_{11} = 0,02 + 0,1 \cdot 0,02 \cdot 0,1 = 0,118.$$

$$P_{12} = P_6 + P_7 - P_6 \times P_7; \quad (5.6)$$

$$P_{12} = 0,2 + 0,09 \cdot 0,2 \cdot 0,09 = 0,20.$$

$$P_{16} = P_9 + P_{10} - P_9 \times P_{10}; \quad (5.7)$$

$$P_{13} = 0,04 + 0,06 \cdot 0,04 \cdot 0,05 = 0,0401.$$

$$P_{14} = P_{11} \times P_5; \quad (5.8)$$

$$P_{14} = 0,118 \times 0,1 = 0,0118.$$

$$P_{15} = P_{12} \times P_8; \quad (5.9)$$

$$P_{15} = 0,20 \times 0,1 = 0,022.$$

$$P_{16} = P_{13} + P_{14} - P_{13} \times P_{14}; \quad (5.10)$$

$$P_{16} = 0,0401 + 0,0118 - 0,0401 \cdot 0,0118 = 0,0142.$$

$$P_{17} = P_{14} \times P_{15}; \quad (5.11)$$

$$P_{17} = 0,0118 \times 0,022 = 0,00250.$$

$$P_{18} = P_{16} + P_{17} - P_{16} \times P_{17}; \quad (5.12)$$

$$P_{18} = 0,0142 + 0,00250 - 0,0142 \times 0,0190 = 0,144.$$

Таким чином на під час роботи електричної освітлювальної системи на при наявності тих недоліків з охорони праці, які відображені у базових подіях на 100 таких місць, можна очікувати 14,4 травм. Якщо підвищити професійний рівень, поліпшити контроль та виготовити профілактичні засоби за всіма вимогами безпеки, то можна побачити на моделі шляхом повторного

розрахунку, що рівень небезпеки буде наближатися до 0, а рівень безпеки - до 1.

5.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Захист цивільного населення у разі загрози виникнення надзвичайних ситуацій є одним з найважливіших завдань держави.

Актуальність проблеми забезпечення природо-техногенної безпеки населення і території зумовлена тенденціями зростання втрат людей та шкоди територіям, що спричиняються небезпечними природними явищами, промисловими аваріями і катастрофами.

Забезпечення безпеки та захисту населення, об'єктів економіки і національного надбання держави від масштабних наслідків надзвичайних ситуацій повинно розглядатись як невід'ємна частина державної політики, національної безпеки та державного будівництва, як одна з найважливіших функцій центральних органів виконавчої влади.

При загрозі радіоактивного забруднення місцевості керівник ЦЗ об'єкта відповідно до плану ЦЗ дає розпорядження привести в готовність формування для захисту тварин. Для догляду за тваринами в приміщеннях залишають мінімальну кількість працівників 3-5 осіб, але не менше 3 на приміщення. За наявності дійних корів залишають 5-7 осіб на 150-200 тварин [17].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Мета данної роботи дослідити та провести аналіз показників керованості та курсової стійкості багатовісних технічних засобів.

Задачі роботи:

Зробити гляд сучасного стану техніки та дорожньо-транспортної інфраструктури

Проаналізувати проблему недостатньої керованості та стійкості багатовісних автомобілів

Зробити огляд критеріїв, які характеризують показники курсової стійкості машин.

Провести аналіз моделей руху машин і рішення для забезпечення курсової стійкості.

Обґрунтувати шляхів покращення курсової стійкості грейдера як багатовісного транспортного засобу.

Зробити висновки.

Багатовісний транспортний засіб, характеризується наявністю більше ніж двох осей (вісей), призначених для підтримки його ваги та забезпечення руху. Ці транспортні засоби зазвичай використовуються для перевезення великих обсягів вантажів чи пасажирів, і вони можуть бути розділені на декілька сегментів або відсіків, кожен з яких може мати свою власну вісь.

Стійкість та керованість є критичними для безпеки дорожнього руху. Проблеми в цих аспектах можуть призводити до аварій та небезпеки для учасників дорожнього руху, особливо в областях з інтенсивним транспортним потоком.

Вирішення проблеми недостатньої керованості та стійкості багатовісних автомобілів вимагає комплексного підходу, включаючи вдосконалення конструкції, впровадження передових технологій безпеки та покращення інфраструктури для підтримки цих транспортних засобів на дорогах

У таблиці 2.1 розглянуто показники що характеризують курсову стійкість.

З розділу зробили висновки. 1. Проблема курсової стійкості, пов'язана з відхиленням машини від запланованої траєкторії під час руху, активно досліджується.

2. Критерієм курсової стійкості найчастіше пропонується використовувати коефіцієнт, рівний відношенню утримуючих зусиль до дестабілізуючих зусиль.

3. Для дослідження процесів втрати курсової стійкості використовуються динамічні схеми, які дозволяють описати траєкторію руху машини в опорній площині. Математичні моделі руху машин складаються на основі рівнянь динаміки або рівнянь Лагранжа II роду, враховуючи припущення і спрощення, характерні для динаміки великих переміщень.

4. Проводяться дослідження для різних ситуацій, таких як рух машини по поверхні з поперечним ухилом чи по криволінійній траєкторії. При моделюванні траєкторії руху сільськогосподарських машин враховуються вплив поздовжніх і поперечних сил на робочому обладнанні, що шарнірно приєднане до задньої частини тягача.

5. Зазначені підходи частково не враховують режими навантаження землерийно-транспортних машин (ЗТМ), зокрема, автогрейдерів. Це викликано конструктивними особливостями автогрейдерів, які впливають на характер навантаження, такими як розташування відвала і конструкція кріплення до рами.

6. Конструктивні методи для стабілізації траєкторії руху машини поділяються на три групи: системи автоматичного управління на основі супутникової інформації, бортові системи автоматичного регулювання з використанням даних від датчиків на самій машині, та додаткові механічні пристрої для впливу на параметри машини і навколишнє середовище.

7. Розробка та встановлення простих механічних систем може бути більш раціональним підходом, оскільки системи автоматичного управління часто потребують використання дорогих електрогідравлічних систем. Необхідно

провести додаткові дослідження для обґрунтування параметрів таких систем з метою покращення курсової стійкості автогрейдера.

Інженерний метод визначення та коригування параметрів курсової стійкості автогрейдера дозволяє виявити можливість бічного зміщення та обертання автогрейдера навколо точки блокування відвала, а також підібрати оптимальні кути встановлення коліс передньої осі, що забезпечують необхідний рівень показників курсової стійкості автогрейдера.

Річний економічний ефект від впровадження розробленого методу корекції траєкторії руху автогрейдера в організаціях-експлуатаційниках становить у середньому 361,220 гривень на одну машину за рік.

..

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Khimka S. CONTROL LIGHTING BY MEANS OF VIRTUAL CONTROL MEASUREMENT DEVICE. / Stepan Khimka, Stanislaw Sosnowski // MOTROL Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin-Rzeszów, 2016 – Vol. 18, №8. с 85–89
2. Кривецький Ю., Кантор Ю. Обґрунтування оптимального вибору мотор-генератора сучасного економного електромобіля. Студентська молодь і науковий прогрес в АПК: тези доп. Міжнар. студ. наук. форуму. (4–6 жовтня 2023 року). Львів: Львівський національний університет природокористування, 2023. С. 435. (Науковий керівник: к.т.н., доц. Хімка С.М.).
3. Кантор Ю., Кривецький Ю. Підвищення показників керованості та курсової стійкості багатовісних автомобілів. Студентська молодь і науковий прогрес в АПК: тези доп. Міжнар. студ. наук. форуму. (4–6 жовтня 2023 року). Львів: Львівський національний університет природокористування, 2023. С. 436. (Науковий керівник: к.т.н., доц. Хімка С.М.).
4. Кисликов В.Ф., Лущик В.В. Будова і експлуатація автомобілів. Київ: “Либідь”, 2006. 400 с.
5. Development of Active Anti-Roll Control for Heavy Vehicles: First Year Report Submitted to the University of Cambridge/ Arnaud J. P. Miede. Cambridge University Engineering Department, September 13, 2000. — 80 p.
6. Сажко В. А. С14 Електрообладнання автомобілів і тракторів: Підручник. Київ. Каравела, 2008. 400 с. ISBN 966-96331-1-7
7. Electude - Автомобільні основи https://lnau.electude.su/bundle_17945301 (дата звернення 31.10.2022 р.)
8. Підручник з будови автомобіля. <https://greenway.com.ua/uk/dovidniki/pidruchnyk-po-vlashtuvannju-avtomobilj> (дата звернення 31.10.2022 р.)

9. Auto 24 https://auto.24tv.ua/budova_avtomobilia_chotyry_skladovi_n31927 (дата звернення 31.10.2022 р.).
10. Для автоелектриків <https://sites.google.com/site/dlaavtoelektrikiv/> (дата звернення 31.10.2022 р.).
11. ДСТУ 12.1.003-03 ССБТ. Шум. Загальні вимоги безпеки. - Київ.: Видавництво стандартів, 2008.
12. Антощенко В.М. Трактори та автомобілі. Ч.4. Робоче, додаткове і допоміжне обладнання Харків, 2016. 164 с.
13. Водяник І.І. Експлуатаційні властивості тракторів і автомобілів Київ: Урожай, 1994. 224 с.
14. Бойко М.Ф. Трактори та автомобілі. Ч.2. Електрообладнання Київ: Вища школа, 2011. 180с.
15. Головчук А.Ф. Експлуатація та ремонт сільськогосподарської техніки. Книга 1. Трактори Київ: Грамота, 2013. 336 с.
16. Лебедев А.Т. Трактори та автомобілі. Ч.3. Шасі Київ: Вища школа, 2014. 336с.
17. Кузнецов Р. М. Покращення показників стійкості триланкових автопоїздів у граничних режимах руху : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / Р. М. Кузнецов. Нац. трансп. ун-т. — К., 2007. — 20 с.
18. Лехман С.Д., Целинський В.П., Козирев С.М. Довідник з охорони праці в сільському господарстві: Запитання і відповіді. Київ: Урожай, 1999. 400с.
19. Лехман С. Д., Рубльов В. І., Рябцев Б. І. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. Київ.: Урожай, 1993. 267с.
20. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.tesla.com/models>

21. Федішин Б.М., Борисик Б.В., Вовк М.В. Хімія та екологія атмосфери. Київ: Алеута, 2013. 272с.
22. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. Тернопіль: Підручники і посібники, 2001.206с.