НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСТИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко – технологічний факультет

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
Тракторів і автомобілів
(назва кафедри)

_____ Калінін Є.І.
(підпис) (ПІБ)

«_____» _____ 2026 р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ БАКАЛАВРА

на тему «ПОКРАЩЕННЯ КЕРОВАНОСТІ ТА СТІЙКОСТІ КОЛІСНОГО ТРАКТОРА РЕГУЛЮВАННЯМ КЕРОВАНИХ КОЛІС»

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Гарант освітньої програми

д.т.н., професор _____ Братішко В.В..
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Керівник дипломного проєкту бакалавра

д.т.н., професор _____ Калінін Є.І. .
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Виконав _____ Соляник Денис Олександрович.
(підпис) (ПІБ)

КИЇВ – 2026

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСТИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
тракторів і автомобілів та
д.т.н., проф. _____ **Калінін Є.І.**
(наук. ступ., вч. звання) (підпис) (ПІБ)
«_____» _____2026 р.

З А В Д А Н Н Я

на виконання дипломного проєкту бакалавра студенту

Солянику Денису Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 «Агроінженерія»
(код і назва)

Тема дипломного проєкту бакалавра на тему «ПОКРАЩЕННЯ КЕРОВАНОСТІ ТА СТІЙКОСТІ КОЛІСНОГО ТРАКТОРА РЕГУЛЮВАННЯМ КЕРОВАНИХ КОЛІС»
затверджена наказом ректора НУБіП України від «16» лютого 2026р. №510 «С»

Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедру: 01.05.2026
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до дипломного проекту бакалавра: характеристики та конструктивні особливості керованості та стійкості трактора тощо

Перелік питань які потрібно розробити

Вступ

1 Стан питання та постановка завдання

2 Вплив кутів установки керованих коліс та шворнів поворотних цапф на експлуатаційні параметри колісної машини

3 Загальний підхід до вирішення задачі вибору параметрів оптимізації

4 Запропоновано безрозмірні критерії (коефіцієнти ефективності), що дозволяють оцінювати якісний рівень роботи трактора, а також розроблено методику їх визначення та використання

Висновки

Перелік графічного матеріалу: Вступ. Стан питання та аналіз існуючих методів. Теоретичні дослідження. Запропоноване технічне рішення. Висновки

Дата видачі завдання «23» лютого 2026 р.

Керівник дипломного проєкту бакалавра _____ Калінін Є.І..
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____ Соляник Д.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Основна частина дипломного проекту викладена на 63 сторінках пояснювальної записки і 10 слайдів презентації, ілюстрована 14 рисунками.

Пояснювальна записка складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаної літератури.

Тема дипломного проекту: «Покращення керованості та стійкості колісного трактора регулюванням керованих коліс».

У ході виконання дипломного проєкту було розроблено розрахункові схеми, на прикладі трактора МТЗ-80 було проведено чисельний аналіз впливу різних кутів установки керованих коліс та шворнів поворотних цапф на узагальнений коефіцієнт ефективності.

В результаті встановлено, що найбільший вплив на величину узагальненого коефіцієнта ефективності надає кут розвалу. Причому кожному чисельному значенню кута розвалу коліс відповідає оптимальне значення кута сходження, навіть незначне відхилення від якого призводить до суттєвого падіння узагальненого коефіцієнта ефективності. Кут подовжнього нахилу шкворня має найменший вплив на узагальнений коефіцієнт ефективності та не пов'язаний з іншими кутами установки керованих коліс та шворнів поворотних цапф.

Запропоновано безрозмірні критерії (коефіцієнти ефективності), що дозволяють оцінювати якісний рівень роботи трактора, а також розроблено методику їх визначення та використання. Як основне (інтегрального) критерію прийнято узагальнений коефіцієнт ефективності, який визначається виходячи з чисельних значень окремих коефіцієнтів ефективності з урахуванням їхньої значущості.

Ключові слова: трактор; шкворні; керовані колеса; розвал; транспортні машини.

ЗМІСТ

Вступ 5

1. **АНАЛІЗ ПРИЗНАЧЕННЯ КУТІВ УСТАНОВКИ КЕРОВАНИХ КОЛІС ТА ШКВОРНІВ** 6

1.1. Аналіз призначення кутів установки керованих коліс та шворнів поворотних цапф 6

1.2. Вплив кутів установки керованих коліс та шворнів поворотних цапф на експлуатаційні параметри колісної машини 13

1.3. Існуючі методи визначення необхідних кутів установки керованих коліс та шворнів поворотних цапф 14

2. **ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНИХ КУТІВ ВСТАНОВЛЕННЯ КЕРІВЕЛЬНИХ КОЛІС І ШКВОРНІЙ ПОВОРОТНИХ ЦАПФ ТРАКТОРА** 16

2.1. Загальний підхід до вирішення задачі вибору параметрів оптимізації 16

2.2. Опис площини керованого колеса 24

2.3. Вплив кутів установки керованих коліс на опір руху колеса 27

3. **ВИБІР КУТІВ ВСТАНОВЛЕННЯ КЕРІВНИХ КОЛІС І ШКВОРНІЙ ПОВОРОТНИХ ЦАПФ ДЛЯ УНІВЕРСАЛЬНО-ПРОПАШНОГО ТРАКТОРА** 29

3.1. Маневреність трактора 29

3.2. Керованість та стійкість трактора 34

3.3. Опір руху трактора 41

4. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАКТОРІВ І АВТОМОБІЛІВ 46

4.1. Правила техніки безпеки під час роботи на тракторах і автомобілях 46

4.1.1. Фактори, що впливають на безпеку праці на тракторах і автомобілях 46

4.1.2. Конструктивні елементи, які підвищують безпеку праці на тракторах і автомобілях 48

4.1.3. Правила безпечної праці на тракторах і автомобілях 50

ВИСНОВКИ 57

ЛІТЕРАТУРА 59

ДОДАТКИ 61

ВСТУП

Сучасне сільськогосподарське виробництво вимагає підвищення продуктивності машинно-тракторних агрегатів (МТА) при одночасному зниженні енерговитрат та збереженні екологічної безпеки ґрунтів. Одним із ключових чинників, що впливають на ефективність роботи колісного трактора, є його курсова стійкість та керованість. Незадовільні показники керованості призводять до збільшення втоми оператора, підвищеного зносу шин, зростання витрат палива через часте коригування траєкторії та погіршення якості технологічних операцій (наприклад, при міжрядному обробітку). Регулювання параметрів встановлення керованих коліс (кутів розвалу, сходження, нахилу шворнів) та адаптивне керування їх положенням є дієвим механізмом покращення динамічних характеристик трактора. Це зумовлює актуальність дослідження методів та засобів вдосконалення системи керування колісними тракторами.У економічній ситуації, що склалася, коли з'являється все більше дрібних приватних підприємст, здатність тракторів виконувати транспортні роботи набуває додаткової цінності. Дрібні підприємці не можуть дозволити собі великий парк машин, а обсяг перевезень у таких господарствах невеликий. У світлі цих причин багатоцільові можливості тракторів особливо актуальні.

Одним із питань конструювання колісних тракторів є завдання вибору кутів установки керованих коліс та шворнів поворотних цапф. Це питання найчастіше розглядалося стосовно до автомобільної техніки, проте повністю на сьогоднішній день не вивчений. Нині немає загальноприйнятих методик розрахунку даних кутів, а їх значення при створенні нових зразків колісних машин визначаються за аналогами, що добре зарекомендували себе.

При цьому слід зазначити, що характеристики тракторних шин суттєво відрізняються від автомобільних. Внаслідок цього методики вибору вище зазначених кутів, розроблені для автомобілів, не завжди можна використовувати стосовно тракторної техніки.

1. Аналіз призначення кутів установки керованих коліс та шкворнів

1.1. Аналіз призначення кутів установки керованих коліс та шкворнів поворотних цапф

У питанням встановлення керованих коліс, як правило, розглядаються тільки кути розвалу та сходження. Однак, це справедливо лише за прямолінійному русі машини. У процесі повороту слід також враховувати кути установки шворнів поворотних цапф.

Ці кути, насправді, не є кутами установки коліс. Їх можна віднести до параметри підвіски машини. У той же час, при повороті керованого колеса кути розвалу та сходження є змінними величинами і на них зміна істотно впливають кути поперечного і поздовжнього нахилу шворня. У світлі вище сказаного, питання установки керованих коліс та шкворнів поворотних цапф доцільно розглядати у комплексі.

На сьогоднішній день існує досить багато робіт, присвячених проблемі встановлення керованих коліс та пов'язаних з нею питань. Проте більшість цих робіт розглядає цю проблему стосовно до автомобільної техніки. Це викликано тим, що питання встановлення керованих коліс, перш за все, пов'язують з питаннями стійкості та керованості. Дані параметри виявляються при значних швидкостях руху. З цієї причини проблема установки керованих коліс для тракторів розглядалася меншою мірою. З розвитком техніки загалом швидкості руху тракторів збільшуються, що змушує приділяти питанню установки їх керованих коліс більше уваги. Виходячи з вище сказаного, перш за все, необхідно приділити увагу роботам, пов'язаним з цієї теми з автомобільною технікою, оскільки в цій галузі питання установки керованих коліс приділялося більше уваги.

Також слід проаналізувати роботи зі стійкості та керованості тягово-транспортних машин, так як проблема установки коліс у більшості робіт розглядається саме з цієї позиції.

Кутом розвалу колеса називається кут *а* (рис. 1.1) між середньою площиною колеса та перпендикуляром до поверхні дороги. Кут розвалу вважається позитивним, якщо верхня частина колеса розташована далі від поздовжньої площини автомобіля, ніж нижня. У існуючих конструкціях тракторів кут а = 1,5 ... 5 °.

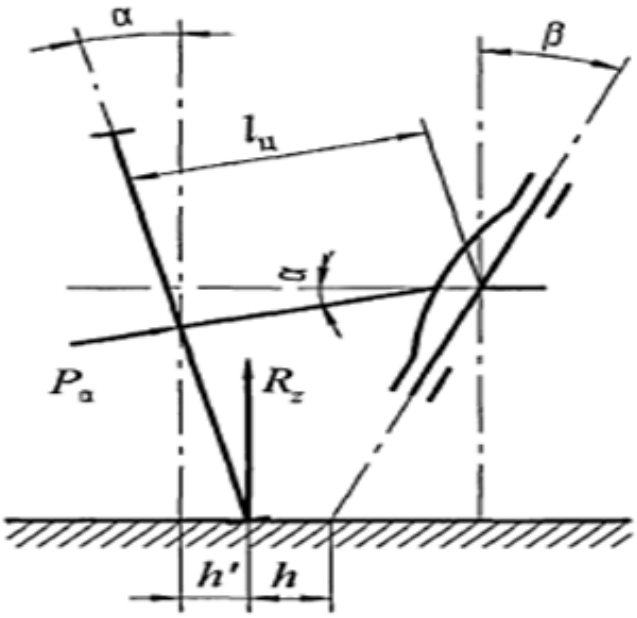


Рис. 1.1. Схема установки керованого колеса та шкворневого вузла в поперечній площині машини

В даний час існує кілька думок про призначення кута розвалу:

- за наявності розвалу на колесі створюється бічна сила, що притискає його до внутрішнього підшипника маточини;

- розвал дозволяє зменшити плече обкатки і, отже, зменшити момент, необхідний повороту керованих коліс;

- при зносі цапфи виключається негативний розвал керованих коліс;

- розвал дозволяє зменшити опір бічному виводу.

Деякі науковці вважають, що основним призначенням кута розвалу є створення бічної сили, що притискає колесо до внутрішнього підшипника.

Внаслідок цього розвантажується зовнішній підшипник і навантажується внутрішній, більший розмір. В результаті чого виляння колеса у разі появи зазорів у підшипниках маточини та зменшується згинальний момент, що навантажує цапфу.

При встановленні колеса з розвалом з'являється осьова сила, спрямована вздовж осі. Однак ця сила невелика і навряд чи може надати серйозне вплив на умови роботи підшипників маточини. Розрахунки показують, що осьова сила навіть у вантажних автомобілів великої вантажопідйомності не перевищує 0,4 кН. Тоді як при затягуванні підшипників маточини виникають осьові сили близько 1,0...1,5 кН, спрямовані вздовж осі колеса.

Крім того, при русі машини дорогою з нерівним покриттям на колеса діють поперечні сили, що у багато разів перевищують цю осьову силу. Так, при прямолінійному русі автомобіля по асфальтобетонному покриттю в рульовому приводі діють сили, які становлять порядок 12... 15% від сили тяжіння, що припадає на передню вісь, а в деяких випадках досягають і 25% . При русі по бруківці середньої якості ці сили іноді досягають 35% вертикального навантаження.

Таким чином, для автомобілів, у яких кут розвалу деколи перевищує 2°, величина поперечної сили, викликаної установкою коліс з розвалом, невелика.

Поширена думка про розвал як засіб зменшення плеча h (рис 1.1) обкатки колеса та моменту, що згинає поворотну цапфу. У роботі говориться, що при коченні керованого колеса на нього діє сила опору коченню. Ця сила із плечем h (рис 1.1) створює момент опору повороту. За наявності розвалу це плече зменшується на величину h' (рис. 1.1) і цим полегшується керування автомобілем.

Дійсно, завдяки початковому розвалу, плече повороту зменшується. на величину h'(рис. 1.1), а момент опору повороту на 5 ... 10%. Тут слід зазначити, що зменшення плеча обкатки набагато простіше досягається за рахунок

поперечного нахилу шворня. До того ж, як показали дослідження, зменшення плеча обкатки доцільно лише до певної величини, оскільки подальше його зменшення ускладнює керування автомобілем та прискорює знос пневматичних шин.

Полегшення ж деталей передньої осі за рахунок зменшення згинального моменту, як показують розрахунки, настільки незначно, що немає практичного значення.

Існує думка, що розвал є допуском на встановлення колеса. Оскільки внаслідок зносу поворотних цапф та підшипників маточок коліс, прогину передньої осі під навантаженням та деформації інших деталей колеса при експлуатації повзають негативний розвал, то зазвичай допуск робиться у бік його збільшення.

Кут сходження колеса *s* (рис. 1.2) - це кут, утворений горизонтальним діаметром колеса та поздовжньою віссю машини. Сходження вважається позитивним, якщо точка *A* (рис. 1.2) перетину горизонтальних діаметрів коліс розташована попереду передньої осі машини. У існуючих конструкціях тракторів кути сходження не перевищують 1°. Іноді сходження коліс визначається різницею відстаней між керованими колесами спереду та ззаду. У цьому випадку сходження вимірюється в мм.

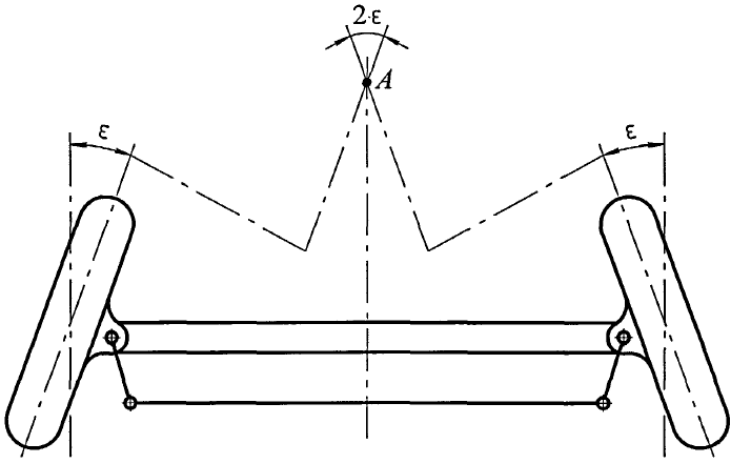


Рис. 1.2. Схема установки керованих коліс зі сходженням

Е - кут сходження керованих коліс.

Так само як і у випадку з розвалом, нині існують різні точки зору щодо призначення кута сходження:

- кут сходження необхідний для компенсації негативного впливу кута розвалу;

- компенсація тенденції керованих коліс до розходження під дією сили опору коченню і, як наслідок, усунення можливості кочення колеса з негативним сходженням;

- кут сходження дозволяє підвищити стійкість прямолінійного рухи машини;

- наявність сходження дозволяє запобігти можливості коливань керованих коліс;

- кут сходження дозволяє поліпшити керованість машини.

Таким чином, кожному розі розвалу відповідає певний оптимальний кут сходження, при якому напруженість у площині контакту буде найменшою. Це підтверджується результатами (рис. 1.3).

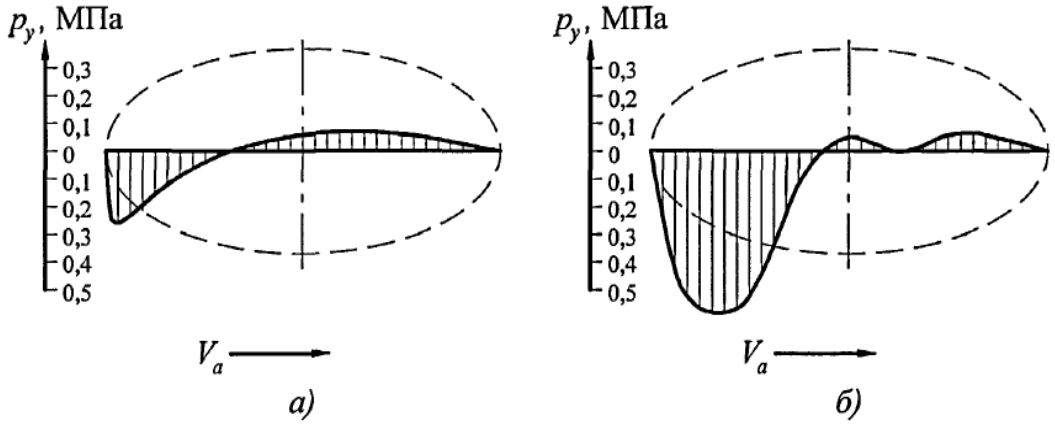


Рис. 1.3. Розподіл поперечних реакцій в контакті колеса, що котиться,

встановленого з розвалом (a=7º40'), при різних значеннях кута ξ сходження:

а - ∁ = 1°; б - ∁ = 2°;

p_y- питома поперечна сила;

v_a - напрямок вектора швидкості руху машини

Однак відсутність сумарної поперечної сили не означає, що установкою колеса зі сходженням можна повністю компенсувати заперечення.

На рис. 1.4 наведено характер розподілу поперечних реакцій у еластичного колеса, що котиться з розвалом (рис. 1.4, а) та з відведенням (рис. 1.4,б). Таким чином, з вищесказаного можна зробити висновок, що установка коліс зі сходженням лише частково зменшує напруженість у контакті колеса з опорною поверхнею.

Збільшення ж сходження понад те, що необхідне компенсації розвалу, викликає вкрай не рівномірний розподіл реакцій у контакті, що призводить до значного збільшення зносу шин.

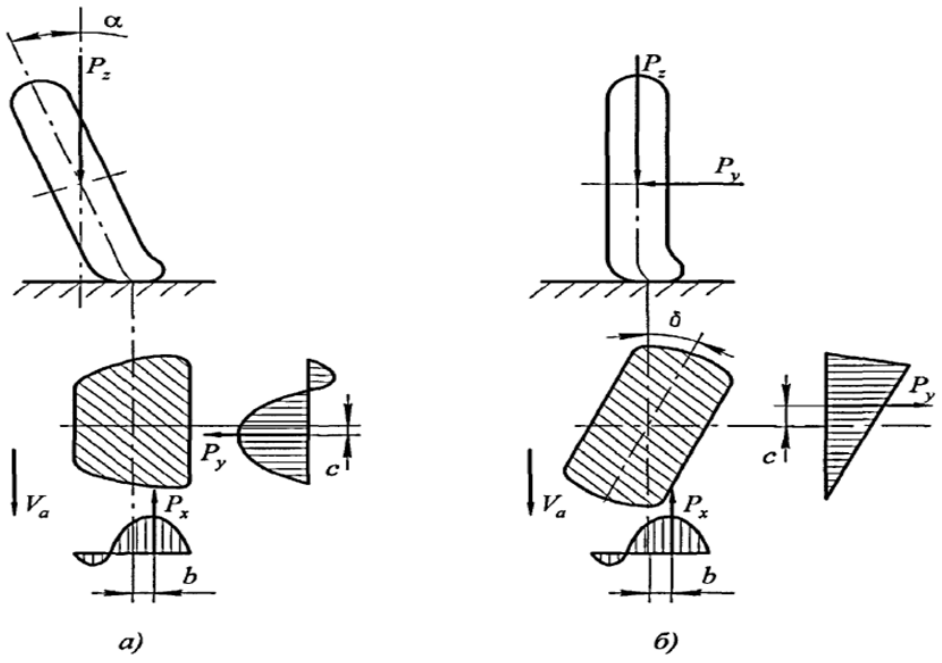


Рис. 1.4. Сили, що діють в контакті колеса, що котиться з дорогою

Існує думка, що наявність сходження перешкоджає тенденції керованих коліс до розходження під дією сили опору коченню вважає, що при

встановленні коліс зі сходженням виникають сили, перпендикулярні до площин коліс, та моменти, що прагнуть повернути їх у бік, протилежний сходження. Внаслідок цього, за наявності зазорів у рульовій трапеції, дотичні та бічні реакції, а також ударні навантаження, що діють на колеса, прагнуть викликати негативне сходження. Щоб уникнути цього керованим колесам часто надається сходження трохи більше, ніж необхідно для компенсації розвалу.

1.2. Вплив кутів установки керованих коліс та шворнів поворотних цапф на експлуатаційні параметри колісної машини

При розгляді питання встановлення керованих коліс та шворнів поворотних цапф особливу увагу необхідно приділити впливу параметрів установки на експлуатаційні характеристики машини.

У процесі руху колісної машини більшість експлуатаційних властивостей реалізується внаслідок взаємодії еластичного колеса з опорною поверхнею. У разі прямолінійного кочення еластичного колеса за рівною горизонтальною опорною поверхнею за умови, що площина кочення колеса перпендикулярна площині опорної поверхні, нього діють лише поздовжні і вертикальні реакції. Однак при нахилі площині колеса або за його кочення з виводом виникають поперечні реакції. Саме вони головним чином впливають на експлуатаційні властивості. машини.

Провівши аналіз, присвячених кутам установки керованих коліс, був зроблений висновок, що насамперед дані кути впливають на величину опору коченню. При цьому найбільш істотний вплив на даний параметр має кут сходження (рис. 1.5). Результати експериментальних досліджень, наведені у роботі, свідчать про те, що зі збільшенням сходження з 2 до 20 мм шлях вибігу, що прямо залежить від сили опору коченню, зменшується вдвічі, а витрата палива збільшується при швидкості 30 км/год на 0%, при швидкості 50 км/год – на 100%

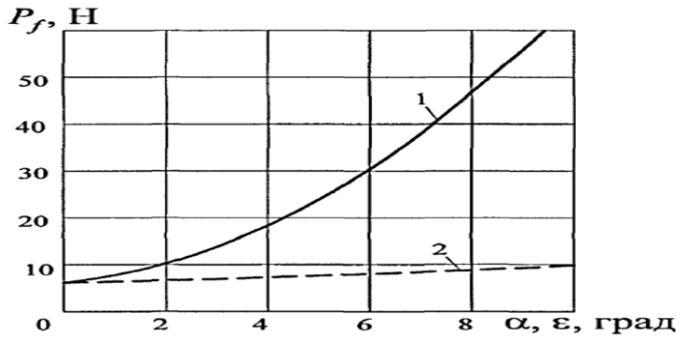


Рис. 1.5. Залежність опору коченню P_f у колеса від кута сходження і розвалу

1.3. Методи визначення необхідних кутів установки керованих коліс та шворнів поворотних цапф

В даний час не існує загальноприйнятих методик розрахунку кутів установки керованих коліс та шкворнів поворотних цапф. При створенні нових зразків колісних машин значення даних кутів в основному изначаються за добре зарекомендованими аналогами. З цієї причини в останні роки йде посилений пошук аналітичних залежностей, що дозволяють розраховувати вище названі кути на стадії проектування машини.

Одне з перших аналітичних обґрунтувань питання погодження кутів установки керованих коліс було у вигляді залежності:

$$\varepsilon_0 = \frac{K_a}{2K_\delta}\alpha \qquad (1.1)$$

де K_a, K_δ - постійні коефіцієнти, що характеризують схильність шини до виведення;

ε_0 - початковий кут сходження;

α - кут розвалу.

Цікава залежність співвідношення кутів розвалу та сходження керованих коліс, що наводиться в роботі:

$$\varepsilon_0 = \frac{a \sin a}{4r_д}\alpha \qquad (1.2)$$

де a - Довжина плями контакту еластичного колеса з опорною поверхнею;

$r_д$ - динамічний радіус колеса.

Недоліком залежності (1.2) є наявність у ній такого параметра, як довжина плями контакту. Цей параметр залежить від багатьох факторів.

Наприклад, таких, як жорсткість шини, тиск повітря в ній та навантаження на колесо. У зв'язку з цим використання цієї залежності на стадії проектування досить складно. Крім того, у процесі руху машини кути розвалу та сходження змінюються, що може призвести до порушення співвідношення (1.2).

Необхідно також відзначити, що всі вище наведені залежності отримані стосовно автомобільної техніки. Тракторна техніка має іншу специфіку роботи, що істотно відрізняються від автомобільних конструктивні параметри шин і дані залежності можуть виявитися не справедливими для неї.

Аналітичних залежностей для визначення кутів установки шворнів поворотних цапф нині немає. Ці кути підбираються експериментально з умови стабілізації керованих коліс. Проте, Як було зазначено вище, дані кути впливають і ряд інших чинників.

Тому їхнє аналітичне визначення на стадії проектування машини є доцільним. До того ж зміна кутів нахилу шкворней впливає зміна кутів установки керованих коліс у процесі руху та повороту машини.

Таким чином, всі існуючі аналітичні залежності на вибір раціонального співвідношення між кутами установки керованих коліс розроблені лише для автомобілів і не можуть бути повністю перенесені на трактори. В даний час відсутні методики вибору необхідних кутів установки шворнів поворотних цапф.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНИХ КУТІВ ВСТАНОВЛЕННЯ КЕРІВЕЛЬНИХ КОЛІС І ШКВОРНІЙ ПОВОРОТНИХ ЦАПФ ТРАКТОРА

2.1. Загальний підхід до вирішення задачі вибору параметрів оптимізації

У попередньому розділі було зазначено, що кути установки керованих коліс і шкворнів поворотних цапф істотно впливають на багато експлуатаційних та техніко-економічних показників машино-тракторного агрегату (МТА) Тому при виборі величин цих кутів необхідно розглядати їхній вплив на ці показники роботи машини. Однак, враховуючи багатоцільове призначення більшості колісних машин, зокрема тракторів, та різноманітність умов експлуатації, кількість показників, що характеризують їхню роботу, може бути дуже значно. Тому врахувати їх усі при виборі кутів установки керованих коліс та шворнів поворотних цапф трактора украй складно. Для аналізу ступеня значимості різних показників роботи трактора їх доцільно розбити на групи.

До першої групи таких показників можна віднести параметри, що впливають на опір руху самохідної машини, які, зрештою рахунку, визначають її паливну економічність і тому є одними із найважливіших показників.

До другої групи слід віднести показники, що характеризують стійкість та керованість самохідної машини.

До третьої групи слід віднести показники, що визначають маневреність самохідної машини, тобто. забезпечення необхідних траєкторій руху на обмежений простір. Важливими експлуатаційними характеристиками є також параметри, що відображають зношування шин, які доцільно об'єднати у четверту групу показників.

Проте слід зазначити, що зношування шин тісно пов'язане з показниками першої групи, тобто. з опором коченню. Дійсно, величина зносу шин за однакових дорожніх умов зростає зі збільшенням супротиву кочення.

Цей висновок можна отримати з аналізу результатів огляду літератури по дослідженнях, автомобільних шин. Тому вплив кутів установки керованих коліс та шворнів поворотних цапф на знос шин може бути враховано за рахунок збільшення значущості показників першої групи. Доцільність такого підходу додатково може бути виправдана тим, що в даний час недостатньо досліджено вплив різних факторів на величини зношування тракторних шин.

З урахуванням зазначеного, у подальших дослідженнях при виборі кутів установки керованих коліс та шворнів поворотних цапф раховуватимемо їх вплив на такі параметри трактора: опір коченню, стійкість та керованість, а також маневреність. Причому рівень важливості опору коченню вдвох, оскільки ці показники не впливають тільки паливну економічність, а й знос шин самохідної машини.

Очевидно, що у разі потреби врахування будь-яких додаткових показників, методика вирішення завдання щодо вибору оптимальних кутів установки керованих коліс і шворнів поворотних цапф практично не змінитись.

Очевидно, що кути, що визначають положення керованих коліс, можуть впливати по-різному, як на окремі показники в межах даної групи (в деякій мірі), так і на різні групи показників загалом (дуже значно). Причому, окремі характеристики та показники можуть в тій чи іншій мірі змінюватись в залежності від умов експлуатації самохідної машини: рух по жорсткому або деформованому основи, прямолінійна або криволінійна траєкторія руху, що встановилася або рух, що не встановився, і т.д. Тому вибір оптимальних значень кутів є досить складною науково-технічне завдання. Ще більше це завдання ускладнюється для самохідних машин універсального призначення, тому що в цьому випадку спектр умов експлуатації і робіт, що виконуються машиною, найширший.

Для об'єктивної відповіді на питання щодо вибору оптимальних значень кутів установки керованих коліс та нахилу шворнів доцільно вибрати узагальнений критерій, що враховує всі зазначені вище групи показників

ефективності самохідної машини, який надалі будемо називати узагальненим (інтегральним) коефіцієнтом ефективності та позначати символом η_o

Для обчислення узагальненого коефіцієнта ефективності η_o попередньо слід, у межах кожної групи показників, визначити критерій по цій групі властивостей, тобто. коефіцієнт ефективності кочення η_k, коефіцієнт ефективності за маневреністю η_mта коефіцієнт ефективності управління η_y.

Усі зазначені коефіцієнти ефективності за смисловим значенням доцільно максимально наближати до поняття коефіцієнта корисного події, тобто. визначати їх як відношення початкової величини якого параметра до його поточного значення (або їх зворотне співвідношення).

Як початкова величина відповідного параметра зручно приймати його мінімальне чи максимальне значення. Причому вибір прямого або зворотного співвідношення будемо проводитися таким чином, щоб якісне покращення експлуатаційного параметра супроводжувалося підвищенням чисельного значення відповідного коефіцієнта ефективності.

Наприклад, при виборі як початкове значення мінімальної величини даного параметра слід брати пряме відношення, а при виборі як початкове значення максимальної величини необхідно приймати зворотне співвідношення. За такого підходу збільшення будь-якого коефіцієнта ефективності вказуватиме на покращення техніко-експлуатаційних показників самохідної машини, а його найвище значення слід очікувати близьким до одиниці. Проте коефіцієнти ефективності не слід ототожнювати з коефіцієнтами корисної дії, оскільки ряді випадків коефіцієнт ефективності може набувати значення більше одиниці.

Таким чином, отримавши K до чисельних значень коефіцієнтів ефективності η_i кожен з яких характеризуватиме певну групу показників, можна визначити узагальнений коефіцієнт ефективності η_o При обчисленні величини узагальненого коефіцієнта, раніше визначеним значенням приватних коефіцієнтів необхідно забезпечити ступінь важливості («вагомість») кожного і-того приватного критерію.

Зазначеною умовою задовольняє відома формула для обчислення середньозваженої величини, яку доцільно використовувати для обчислення узагальненого коефіцієнта ефективності. Тоді

$$\eta_0 = \frac{\sum_{i=1}^{k} \Omega_i \eta_i}{\sum_{1=1}^{k} \Omega_i} \qquad (2.1)$$

де Ω_i - безрозмірна величина, що враховує значимість кожного з приватних коефіцієнтів ефективності η_i (коефіцієнт «вагомості») і-того приватного критерію).

Слід зазначити, що формулу для обчислення середньозваженої величини можна спростити, якщо забезпечити виконання умови

$$\sum_{i=1}^{k} \Omega_i = 1$$

Тоді

$$\eta_0 = \sum_{i=1}^{k} \Omega_i \eta_i \qquad (2.2)$$

Обчислення коефіцієнта ефективності, що характеризує певну групу параметрів, може бути проведено аналогічно до обчислення узагальненого параметра. Тобто. у межах і-тої групи параметрів вибираємо m приватних коефіцієнтів ефективності η_{ij}, найбільш важливих та суттєвих для характеристики даної експлуатаційної властивості самохідної машини, де *j* - gорядковий номер приватного коефіцієнта в межах групи.

А потім з урахуванням ступеня важливості кожного з вибраних параметрів (з обліком коефіцієнтом «вагомості» -Ω_{ij}) обчислюємо середньозважене значення коефіцієнта ефективності за цією групою показників

$$\eta_i = \frac{\sum_{j=1}^{m} \Omega_{ij} \eta_{ij}}{\sum_{j=1}^{m} \Omega_{ij}} \qquad (2.3)$$

Таким чином, приватні коефіцієнти ефективності та їх степені значущості, залежно (2.3) вираховують коефіцієнт ефективності по кожній

групі експлуатації параметрів. А потім з обліком значущості кожній групі параметрів за виразом (2.1) визначають узагальнений коефіцієнт ефективності значимості кожної групи параметрів за виразом (2.1) визначають узагальнений коефіцієнт ефективності.

Питання правомірності використання коефіцієнта ефективності як критерій оптимізації багато в чому визначатиметься набором приватних коефіцієнтів оптимізації Причому останнє завдання є найбільш складною, тому що при її вирішенні необхідно враховувати процеси, колеса, що відбуваються в контакті з опорною поверхнею. Однак, враховуючи дослідження, проведені раніше в цій галузі техніки, вона може бути вирішена з великим ступенем достовірності.

Одним із найважливіших питань при використанні спільного та приватних критеріїв оптимізації є вибір чисельних значень коефіцієнтів "вагомості". Вибір цих величин є не так технічним завданням, скільки економічною проблемою. Вона багато в чому залежить від призначення досліджуваної самохідної машини (за видами виконуваних робіт та за умовами експлуатації). Під час розробки методики визначення кутів установки керованих коліс та шкворнів поворотних цапф трактора в межах даної роботи можна прийняти (як приклад) рівну вагомість кожної із чотирьох груп експлуатаційних параметрів зазначених вище. Тоді, з обліком (2.2), коефіцієнти «вагомості» для маневреності Ω_m та ефективності управління Ω_y кладуть 0,25, а коефіцієнт «вагомості» для ефективності кочення $\Omega_к$ -0,5.

Відзначимо що економічно обґрунтований вибір коефіцієнтів вагомості Поряд із правильною оцінкою приватних коефіцієнтів вагомості. Поряд із правильною оцінкою приватних критеріїв оптимізації дозволить визначити відзначимо що економічно обґрунтований вибір коефіцієнтів вагомості Поряд з правильною оцінкою приватних коефіцієнтів вагомості Поряд з правильною оцінкою приватних критеріїв оптимізації дозволить Визначити узагальнений коефіцієнт ефективності який буде об'єктивно відображати оптимальність вибором кута установки коліс і шкворнів поворотних цілей коліс і кутами

нахилу шкворнів питання вибору їх оптимальних значень зводиться суто математичної задачі відшукання складної функції яка є узагальненою коефіцієнт ефективності.

Причому у разі екстремальним значенням функції буде її максимум.

Істотним моментом перед проведенням визначення максимального значення складної функції є уточнення незалежних змінних, за якими слід проводити оптимізацію. Як такі величини при вирішенні цієї задачі будуть кути установки керованих коліс та кути нахилу шворня. Причому всі прийняті як аргументи кути мають бути незалежними параметрами.

Першим незалежним аргументом приймемо кут сходження коліс 8, тобто кут між вертикальною поздовжньою площиною машини та утвореною лінією перетином площини колеса та горизонтальної площини проходить через її вісь обертання (рис. 1.2). Причому позитивним напрямом цього кута будемо вважати напрямок, викликаний відхиленням передньої точки площини колеса усередину машини (рис. 1.2).

Як другий незалежний аргумент приймемо кут поздовжнього нахилу шворня у, тобто. кут між поперечною вертикальною площиною (щодо осі машини) та віссю шворня. Позитивним напрямом цього кута прийматимемо напрям, викликаний відхиленням верхньої точки шворня у бік задньої частини машини.

Важливим кутом, що характеризує експлуатаційні властивості колісної машини, є розвал керованих коліс. Під кутом розвалу а розуміється кут між площиною колеса і вертикальною площиною перпендикулярної осі його обертання (рис. 2.1). Цей кут може бути забезпечений двома конструктивними способами: за рахунок кута поперечного нахилу шкворня β і за рахунок відхилення площини колеса від осі шворня на кут ψ (рис. 2.1).

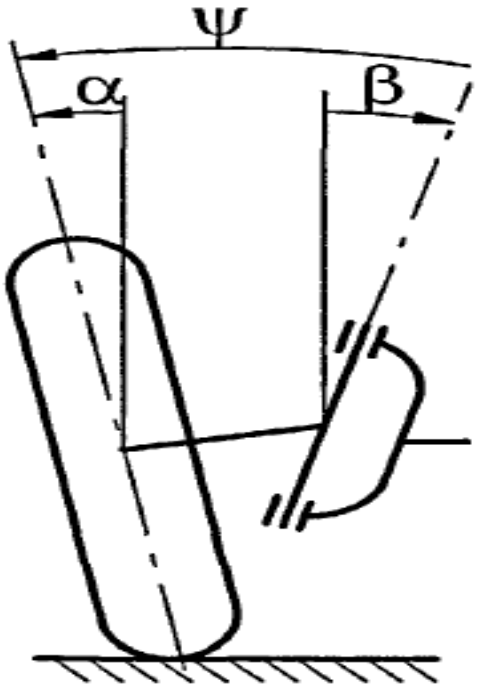


Рис. 2.1. Кути установки керованих коліс та шворнів поворотних цапф у поперечній

Причому кути β та ψ по різному впливають на величину кута *a* при повороті керованих коліс. Так при нейтральному положенні керованих коліс (Кут повороту $\theta = 0$) величина а визначається алгебраїчною сумою β та ψ (Рис. 2.1). При збільшенні кута θ вплив ψ на *a* не змінюється, а вплив β — зменшується і при $\theta = 90$ ° кута стає рівним куту. Для взаємозв'язку цих трьох кутів використовуємо таку залежність

$$\alpha = \psi - \beta \cos\theta$$

Таким чином, для визначення положення керованого колеса у поперечній площині, при фіксованому значенні θ з трьох кутів α, β, ψ. необхідно вибрати два. Тоді ці кути можна використовувати як незалежні змінні.

При виборі трьох можливих кутів α, β та ψ двох, для використання як незалежні змінні, необхідно враховувати такі обставини.

По-перше, кути β та ψ не змінюються при зміні експлуатаційних режимів машини, а кут *a* змінним (наприклад, при зміні кута повороту θ). По-друге, кути р β та ψ задаються конструктором на кресленнях реальних деталей

та їх величини визначаються у процесі виготовлення цих деталей, а величина кута виходить у процесі складання, тобто. А є вторинним стосовно β та ψ. Враховуючи зазначені обставини, як незалежні змінні надалі використовуватимемо кут поперечного нахилу шкворня β і кут відхилення площини колеса від осі шворня ψ.

2.2. Опис площини керованого колеса

При розгляді питань, пов'язаних насамперед із маневреністю трактора, необхідно мати залежність між кутом повороту керованого колеса та положенням цього колеса у просторі щодо опорної поверхні.

Для аналізу впливу всіх кутів установки керованого колеса та шкворня поворотної цапфи на положення колеса у просторі необхідно мати модель, що описує положення центральної площини керованого колеса самохідної машини.

Під час розробки такої моделі за початок координат приймаємо точку перетину осі обертання колеса та осі повороту колеса (вісь шкворня) при нульових значеннях кутів (рис. 2.2). При цьому вісь *x* спрямована за напрямом руху машини; вісь *y* — перпендикулярно напрямку рухи, горизонтально та вліво; вісь *z* - вгору.

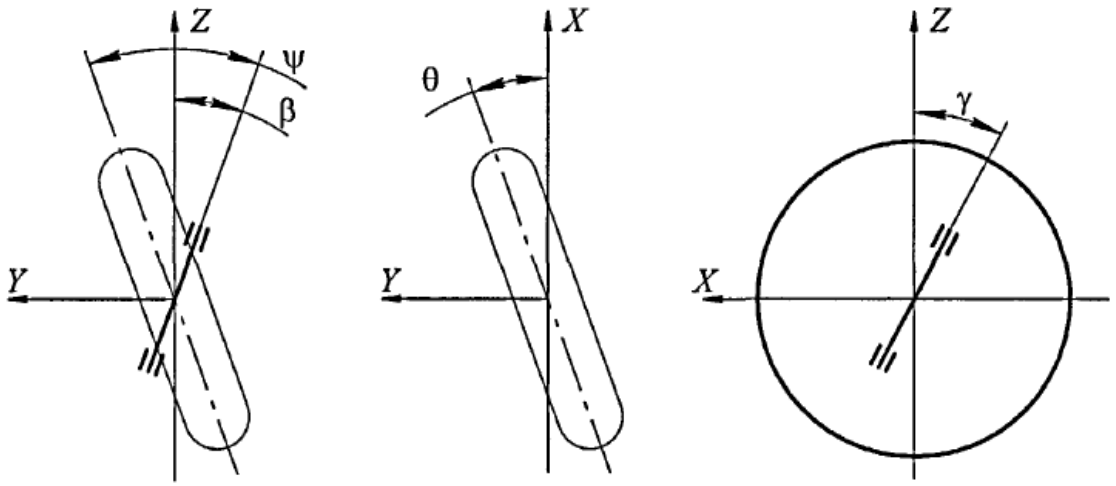


Рис. 2.2. Позначення кутів та напрямки осей координат:

де β – кут поперечного нахилу шворня;

ψ- кут відхилення площини колеса від осі шворня у напрямку перпендикулярному площині колеса;

y - кут подовжнього нахилу шворня;

Θ - кут повороту колеса щодо осі шворня.

Визначимо рівняння площини колеса при відхиленні вказаних кутів від нульових значень. У загальному випадку рівняння площини має вигляд:

$a_i + b_i y + c_i z + d_i = 0$ (2.4)

де *i* - індекс, присвоєний даній площині; $a_i, b_i, c_i d_i$ – чисельні коефіцієнти.

При проведенні даного аналізу вважатимемо, що вісь обертання колеса перетинає вісь повороту колеса (вісь шворня) у точці, яка є центром мас центральної площини. За початок координат приймемо цю точку перетину.

Рівняння площини колеса, тобто. коефіцієнти залежності (2.4), знайдемо в загальному випадку (β≠ψ≠y≠Ѳ≠0) за трьома точками.

Перша точка (початок координат) має значення:

$$x_1 = 0;\ \ y_1 = 0;\ z_1 = 0$$

Визначимо положення другої точки площини, що шукається. Нехай у початковий момент, тобто при β=ψ=γ=Ѳ=0 , ця точка знаходиться на осі абсцис (точка Q_1 на рис. 2.3,а) і з'єднується з початком координат (точка О) лінією 1. Позначимо початкову довжину відрізка $0Q_l$ величиною $x_н$ Тоді координати цієї точки:

$$x_{Q1} = x_н;\ \ y_{Q1} = 0;\ \ z_{Q1} = 0$$

На цьому ж рисунку показано вісь повороту колеса (шкворень) OR_l (лінія 1). У початковий момент ця лінія займає вертикальне положення та збігається з віссю аплікат. Для зручності на рис. 23, *а* завдано також чверть "Серединної" дуги колеса R_lQ_l.

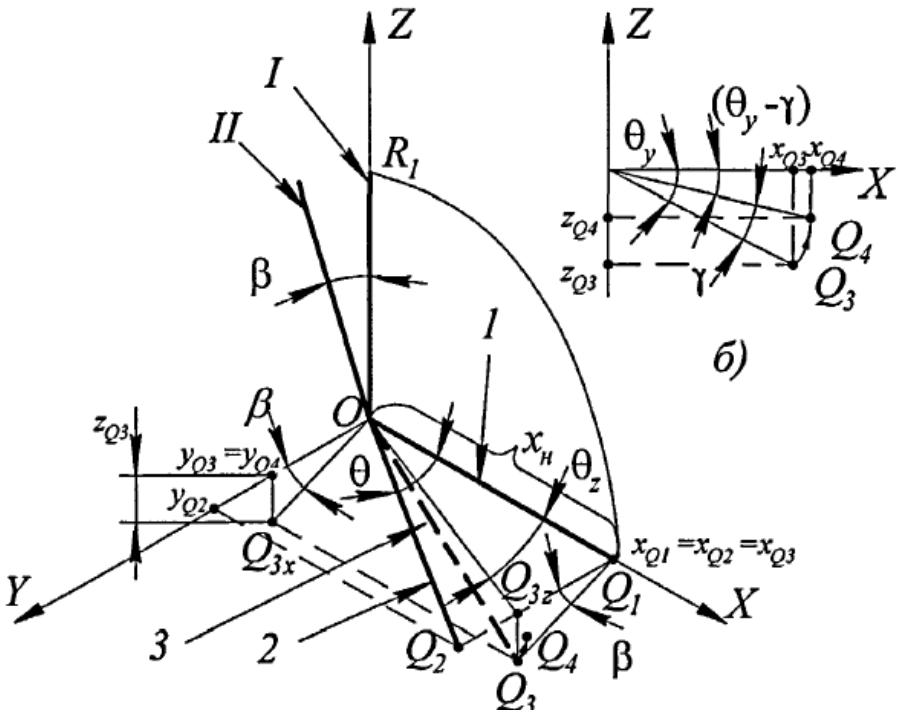


Рис. 2.3. Схема визначення положення другої точки площини колеса

На рис. 2.3, *а* шворень збігався з лінією II, а кут повороту колеса щодо шворня перебував у площині перпендикулярної лінії II.

Їм був кут між лінією 3 та віссю 0х. Таким чином, для збереження постійної величини кута θ при повороті площини колеса на кут ψ і нерухомому положенні шворня (лінія II на рис. 2.3, а), лінія 3 повинна залишатися на місці. Отже, поворот на кут ψ повинен проходити відносно лінії 3, яка змінює свого становища.

2.3. Вплив кутів установки керованих коліс на опір руху колеса

Розглядається поворот МТА з причепом на твердій горизонтальній поверхні. Як приклад приймемо, що до складу МТА входять трактор (МТЗ-80) та причіпний транспортний причіп.

При коченні колісної машини в контакті колеса з опорною поверхнею виникає сила опору руху. Ця сила, як було зазначено раніше, впливає на різні експлуатаційні параметри, такі як витрата палива, знос шин та ін. Величина сили опору руху залежить від різних конструктивних параметрів, у тому числі і від кутів установки керованих коліс.

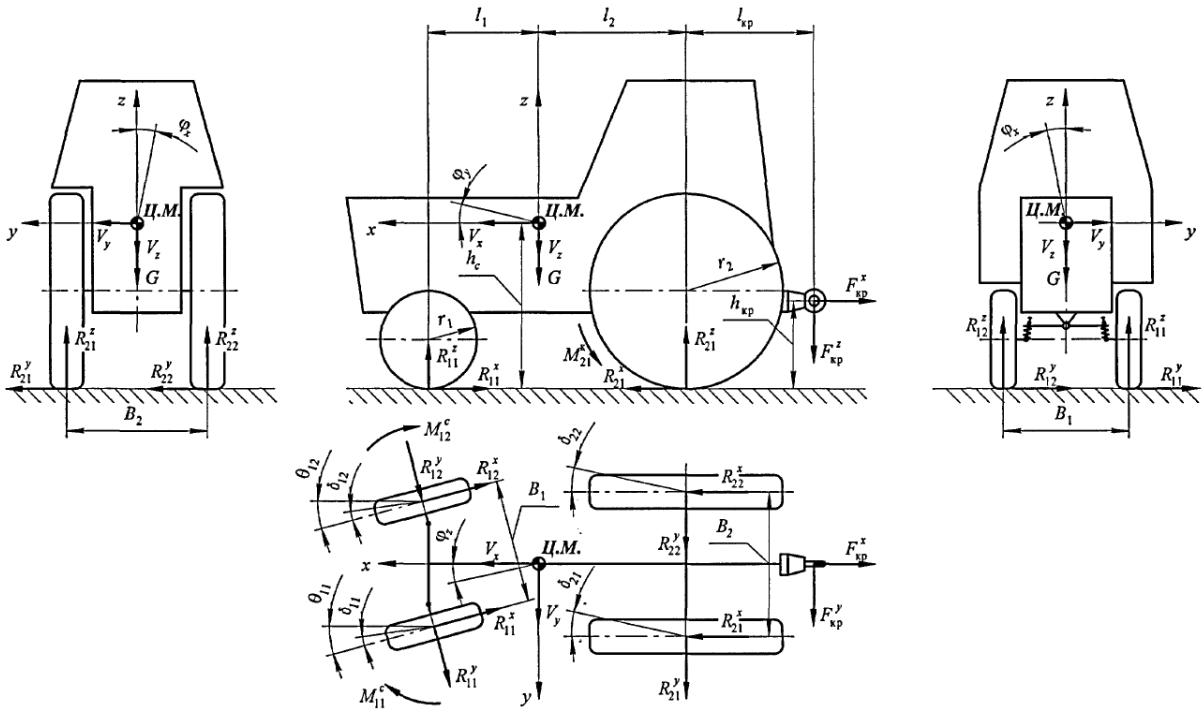


Рис. 2.5. Сили та моменти, що діють на трактор МТЗ-80 при його русі на повороті по рівній горизонтальній недеформованої опорної поверхні

Для визначення реакцій у контакті коліс задньої осі з опорною поверхнею можна використовувати самі залежності, як і передньої осі.

Однак слід враховувати, що задні колеса трактора, що розглядається провідними, унаслідок чого ними діє дотична сила.

Задні колеса трактора, що розглядається, встановлюються без розвалу.

Тим не менш, дані колеса розташовані під деяким кутом до опорної поверхні. Цей кут дорівнює куту крену трактора і виникає через наявність жорсткого зв'язку між остовом трактора і балкою заднього моста. Однак цей кут має досить малу величину, тому в даному випадку їм можна знехтувати.

3. ВИБІР КУТІВ ВСТАНОВЛЕННЯ КЕРІВНИХ КОЛІС І ШКВОРНІЙ ПОВОРОТНИХ ЦАПФ ДЛЯ УНІВЕРСАЛЬНО-ПРОПАШНОГО ТРАКТОРА

3.1. Маневреність трактора

Трактору, як самохідній машині, досить часто доводиться працювати за умов обмежених просторів. Тому важливою властивістю, характеризуюш;им його експлуатаційні якості, є маневреність, тобто. здатність руху за малих радіусах повороту. Кути установки керованих коліс та шкворнів поворотних цапф можуть надавати істотне вплив на маневреність трактора і, як наслідок, на маневреність МТА. Дійсно при тому самому положенні точок кріплення шворнів щодо рами трактора, але при різних кутах установки керованих коліс та шворнів поворотних цапф, можна отримати різні величини максимальних кутів повороту і, отже, різну маневреність.

Тому доцільно провести аналіз впливу кутів установки керованих коліс та шворнів на маневреність трактора.

Аналіз маневреності трактора залежно від кутів установки керованих коліс та шкворнів поворотних цапф проводитимемо без урахування динамічної деформації в шинах коліс, тому що маневрування в більшості випадків відбувається на малих швидкостях руху. При цьому будемо також вважати, що у разі кінематичної невідповідності між правим і лівим керованими колесами (через недосконаліть кермової трапеції) деформації обох коліс однакові, але спрямовані у різні боки.

Перед проведенням аналізу необхідно отримати зв'язок між кутами повороту керованих коліс та радіусом повороту трактора R.

Для отримання залежності між кутами повороту керованих коліс і радіусом повороту трактора R розглянемо поворот трактора вліво. У цьому випадку можна вважати, що рульова трапеція забезпечує наступне співвідношення між кутами повороту лівих θ_{11} та правих θ_{12} коліс (рис. 3.1)

$$ctg\theta_{12} - ctg\theta_{11} = B_1/L \qquad (3.1)$$

де L - поздовжня база трактора; B_1 - відстань між осями шворнів поворотних цапф.

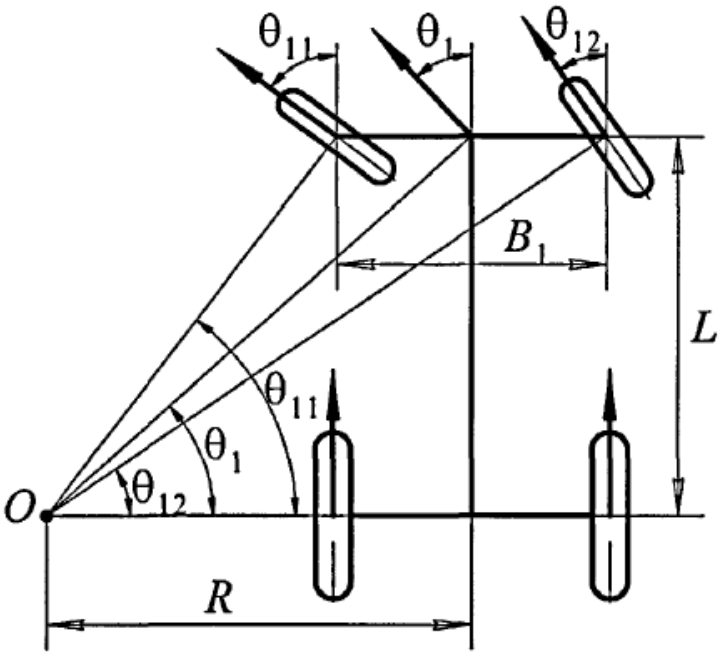


Рис. 3.1. Схема повороту колісного трактора

У цьому випадку різні точки трактора матимуть різні радіуси відносного миттєвого центру повороту. Теоретично руху колісних машин за радіус повороту зазвичай приймають відстань від миттєвого центру повороту до поздовжньої осі машини. Ця величина пов'язана із середнім кутом повороту керованих коліс (рис. 3.1) тригонометричним співвідношенням.

$$R = Lctg\theta_1 \qquad (3.2)$$

де Gi - середній кут повороту керованих коліс, тобто. кут повороту точки, лежачої на перетині осі керованих коліс і поздовжньої осі машини.

Зазначимо, що правомірність застосування середнього кута повороту керованих коліс підтверджується використанням його і в більш складних х моделях самохідних машин.

З урахуванням прийнятого припущення про однакову деформацію лівого та правого керованих коліс, величину кута 9і можна визначати з наступного співвідношення.

$$ctg\theta_1 = 0.5(ctg\theta_{11} + ctg\theta_{12})$$

Залежно (3.1) - (3.2) дозволяють зв'язати радіус повороту трактора з будь-яким з кутів повороту керованих коліс.

Отримані залежності дозволяють визначати чисельні значення радіусів повороту трактора (у тому числі його мінімальну величину) по одному з керованих коліс. Оскільки кут повороту внутрішнього колеса машини більше, то маневреність машини визначатиметься цим колесом, тобто. по куту θ_{11}. Однак при проведенні розрахунків з маневреності в окремих випадках (наприклад, при дуже значних кутах сходження) граничний радіус повороту може визначатися і зовнішньому колесу.

Тому під час проведення розрахунків слід також контролювати кут повороту зовнішнього колеса, тобто. θ_{12}.

Далі необхідно розглянути вплив кутів установки керованих коліс і шкворнів поворотних цапф на максимальне значення їхнього кута повороту.

При розгляді вважатимемо, що поворот відбувається вліво. У у цьому випадку обмеження максимального значення кута повороту слід розглядати для лівого керованого колеса, тобто для θ_{11}.

Максимальне значення кута повороту керованого колеса обмежується «упором» цього колеса в кістяк самохідної машини. У аналізованому У разі представимо його двома площинами, які умовно називатимемо бічний та нижній. Для опису цих поверхонь скористаємося осями координат з центром у точці перетину осей шкворня та колеса.

З використанням зазначених залежностей та за запропонованим алгоритму було проведено розрахунки для аналізу впливу кутів установки

керованих коліс та шворнів поворотних цапф на прикладі колісного тракторів МТЗ-80.

Результати обчислень наведено у вигляді графічних залежностей на рис. 3.2, при побудові яких як початкові були прийняті «заводські» кути установки керованих коліс та шворнів поворотних цапф.

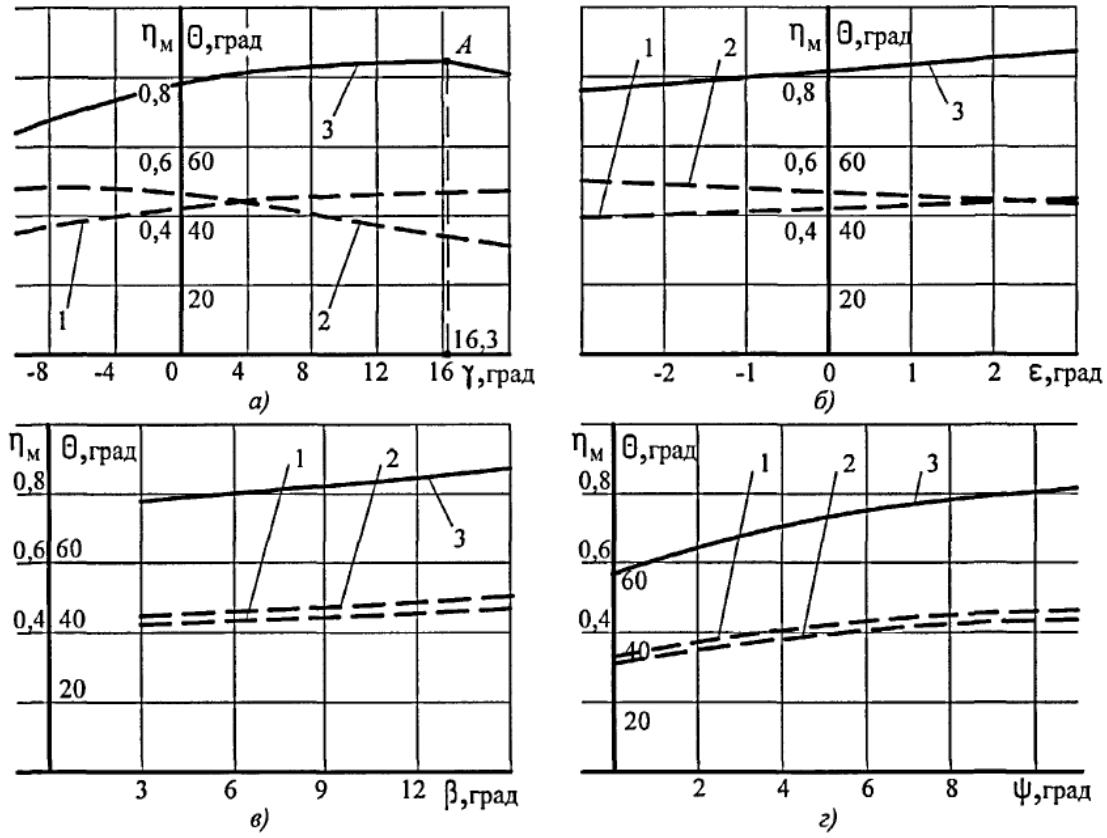


Рис. 3.2. Залежність кутів повороту керованих коліс трактора та його коефіцієнта маневреності від кутів установки керованих коліс та шкворнів поворотних цапф

Основним параметром, що характеризує маневреність колісної машини є радіус повороту. Однак, для вирішення завдання на вибір оптимальних значень кутів установки керованих коліс і шкворнів покомірних цапф, доцільно перейти до відносної величини, що характеризує маневреність. При переході до величини відносного радіусу повороту трактора дійсний радіус необхідно співвіднести з якимсь фіксованим значенням радіусу повороту. Як такий радіус

може бути прийнято будь-яке значення, оскільки вибір цієї величини під час проведення порівняльного аналізу не вплине на його кінцеві результати.

У процесі аналізу впливу на маневреність кута поперечного нахилу шкворня β необхідно враховувати особливості конструкції досліджуваної колісної машини. Так, у трактора МТЗ-80 кути нахилу шворня спрямовані у бік протилежну розвалу коліс. Тому збільшення р супроводжується зменшенням розвалу коліс. Крім того, зміна кутів нахилу шворнів може спричинити зміну та інших конструктивних розмірів. Тому при дослідженні впливу кутів β на маневреність трактора МТЗ-80, поряд із прийнятими раніше припущеннями, вважатимемо фіксованими положеннями точок кріплення шворнів на остові трактора і незмінним дорожній просвіт між дорогою та передньою балкою.

3.2. Керованість та стійкість трактора

Аналіз впливу кутів установки керованих коліс та шворнів поворотних цапф на керованість і стійкість руху самохідної машини ми доцільно проводити спільно, тому що в більшості випадків погіршення керованості призводить, зрештою, до втрати стійкості руху. Тобто. втрата стійкості є крайнім випадком погіршення керованості. Тому в даному підрозділі проведемо дослідження впливу кутів установки керованих коліс та шворнів поворотних цапф на керованість машини, а також розглянемо можливість втрати стійкості її рухи.

При аналізі впливу кутів установки керованих коліс та шворнів поворотних цапф на керованість скористаємося моделлю, поданої у підрозділі 2.3. Ця модель дозволяє дослідити поведінку машини за різних умов руху. Дослідження проведемо на транспортному режимі руху дорогою з коефіцієнтом опору f= 0,018 при трьох швидкостях руху (на 9-ій, 8-ой і 4-ой передачах трактора МТЗ-80) і за різних маневрах керованої машини. Вибрані передачі відповідають (або близькі) наступним швидкості руху трактора: V =V_{max}, V=0,5*V_{max}, і V = 0,25*V_{max}.

Як досліджуваних маневрів приймемо такі режими повороту машини:

1) різкий (миттєвий) поворот рульового колеса на заданий кут та рух при цьому кут повороту керованих коліс (круговий рух трактора);

2) плавний поворот рульового колеса на задану величину, рух на повороті (з максимальним кутом повороту рульового колеса) та зменшення кута повороту до нульового значення (подолання повороту);

3) плавне збільшення кута повороту рульового колеса до величини, що викликає втрату стійкості руху на повороті.

При русі об'єкта, що досліджується, математичне моделювання дозволяє отримати зміну його кінематичних параметрів. На рис.3.3 наведено деякі з параметрів, що характеризують рух машини при максимальній швидкості та

на першому режимі повороту (при різкому зміні кутів повороту керованих коліс від нуля до середньої величини Θ=10°). Наведені графічні залежності отримані при прийнятих (заводських) кутах установки керованих коліс та шворнів поворотних цапф.

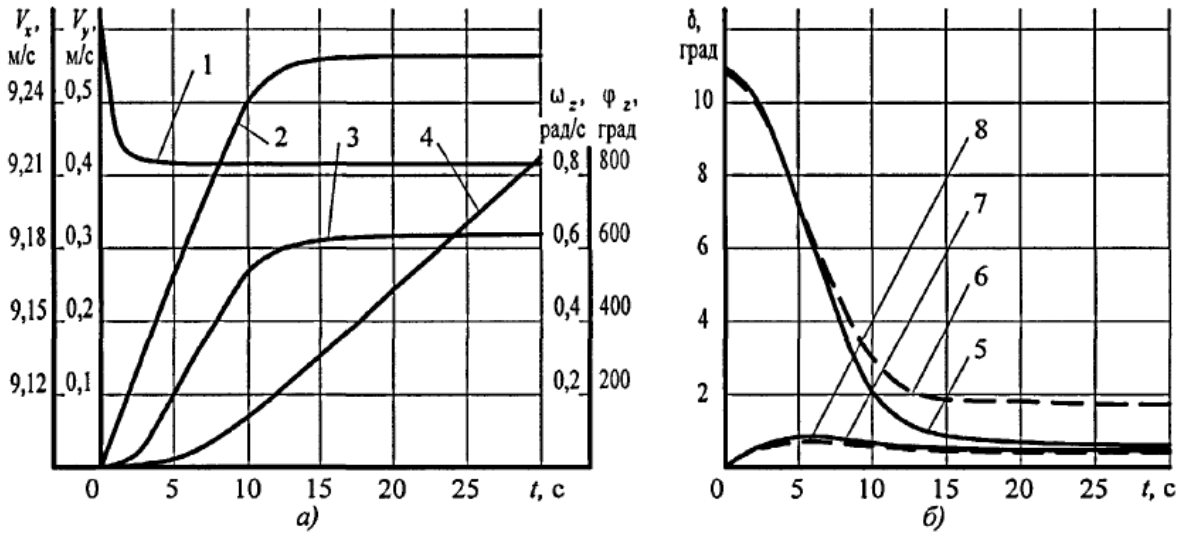


Рис. 3.3. Зміна кінематичних параметрів при різкому повороті колісної машини

При різкому повороті керма на заданий кут Θ відбувається перехід з прямолінійного руху на кругове. Стабілізація поступальної швидкості V_x займає близько трьох секунд (рис. 3.3 *а* лінія 1). При цьому швидкість падає на 0,6%. Інші кінематичні параметри: бічна швидкість V_y (лінія 2), кутова швидкість ω_z, (лінія 3) і кут повороту φ_z(лінія 4) відносно вертикальної осі стабілізуються протягом 10...15 с. Далі трактор рухається з швидкостями, що встановилися, по круговій траєкторії.

На рис. 3.3.*б* наведено графічні залежності кутів відведення всіх чотирьох коліс трактор. Як випливає з аналізу цих залежностей у початковий момент (після повороту керованих коліс на 10°) їх кут відведення максимальне значення, а потім падає і через 10...15 с стабілізується (Рис.3.3,*б*, лінії 5 і 6). Відмінність максимальних кутів відведення (більше 10°) від величини кутів

повороту керованих коліс (10°) пояснюються впливом їх кутів установки. Кути відведення задніх (некерованих) коліс змінюються в значно меншою мірою (лінії 7 та 8) і також стабілізуються протягом вказаного проміжку часу. Слід зазначити, що кути відведення на лівому та правому задніх колесах також різні, як і на передніх.

Необхідно також зазначити, що за зміни величин кутів установки керованих коліс та шкворнів поворотних цапф буде незначно змінюватися також максимальне значення кута $\theta_{\text{тр}}$ повороту трактора. Цією зміною у аналізі будемо нехтувати, оскільки воно не впливає на пропорційність між кутами повороту керованих коліс θ та кутом повороту трактора $\theta_{\text{тр}}$. Крім того, зміна величини максимального кута повороту $\theta_{\text{тр},max}$може бути компенсовано зміною передавального числа кермового управління.

Таким чином, як критерій керованості при різкому повороті передніх коліс використовуватимемо коефіцієнт керованості$\eta_{\text{упр}}$. Однак слід мати на увазі, що коефіцієнт керованості буде дещо змінюватись при зміні швидкості руху та кута повороту коліс θ. Тому надалі для аналізу будемо використовувати його середню величину

$$\eta_{\text{упр}} = \sum_i^m \sum_j^n (\eta_{\text{упр}})\, ij\, \tau_i \tau_j \qquad (3.3)$$

де $\eta_{\text{упр}}$ - коефіцієнт керованості обчислений на приватному режимі при русі з і-тою швидкістю і при j-тому куті повороту керованих коліс;

$\tau_i \tau_j$- коефіцієнт пріоритетності руху з і-тою швидкістю і при j-тому куті повороту керованих коліс.

При проведенні аналізу надалі пріоритетним вважатимемо рух з максимальною швидкістю, тому приймемо такі режими роботи та відповідні їм коефіцієнти пріоритетності:

- Три швидкості руху:$V_{max}(\tau_i = 0.5), V = 0.5V_{max}(\tau_i = 0.375)$ та $V = 0.25V_{max}(\tau_i = 0.125)$;

- Три кути повороту керованих коліс: θ= 5 ° (τ_j = 0,333), 0 = 10° $\tau_j = 0.333$ та $\theta 15$ ° $(\tau_j) = 0.333$

Після розгляду поведінки трактора при різкому повороті кермового колеса розглянемо його реакцію більш плавні зміни кутів повороту керованих коліс. Очевидно, що при розгляді плавного повороту кермових Коліс вплив демпфуючих властивостей шин буде менш помітним. Однак такі керуючі впливу на кермо трактора більше можливі за умов експлуатації будь-якої транспортної машини.

Таким чином, проведений аналіз показує, що отримані результати не суперечать фізичним процесам, що відбуваються при повороті трактори. Тому коефіцієнти керованості т|упр можуть бути використані як критерії для оцінки впливу кутів установки керованих коліс та шкворнів поворотних цапф на керованість транспортної машини.

Найчастіше оцінку стійкості руху самохідної машини (автомобіля), що має надмірну повертаність, проводять з критичної швидкості. Проте використати такий спосіб оцінки стійкості у разі недоцільно з двох причин. По-перше, транспортний режим трактора чи МТА принципово відрізняється від режиму руху автомобіля сталістю швидкості руху (або швидкістю близькою до постійної). Крім того, як випливає з аналізу, досліджуваний об'єкт не має надмірної повертаності. Тому аналіз стійкості руху досліджуваного об'єкта проведемо при криволінійному рух.

Розглянемо рух трактора на повороті з наростаючим лінійною залежності кутом повороту керованих коліс

$$\theta = \kappa_\theta t \qquad (3.4)$$

Результати моделювання руху трактора на повороті представлені на рис. 3.4 (при $V = V_{max}$) - На рис. 3.4 можна виділити п'ять характерних зон руху трактора

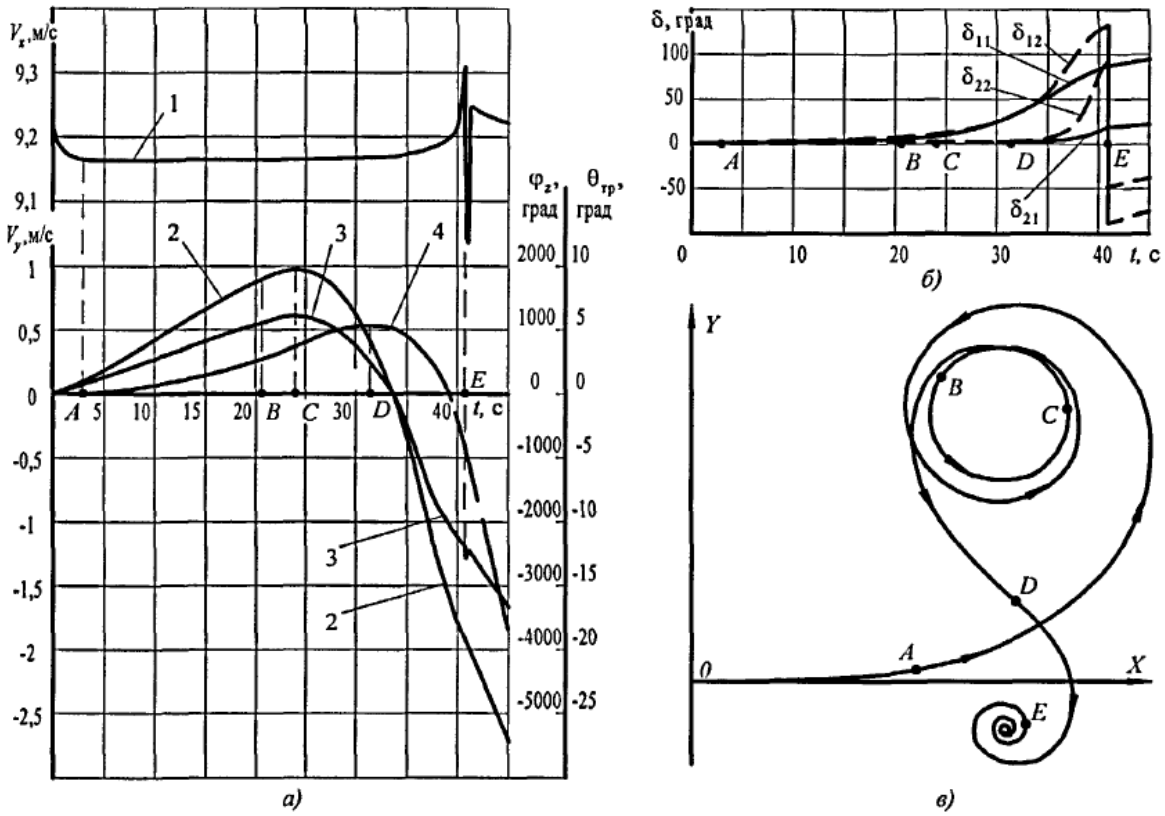


Рис. 3.4. Зміна різних кінематичних параметрів (а,б) та траєкторія руху (в) трактора щодо його стійкості

У першій зоні, яку умовно можна назвати зоною входу в поворот, відбувається стабілізація деяких кінематичних параметрів. Найбільш різко це проявляється залежно від $V_x = f(t)$(лінія 1 на рис. 3.4,а), яка спочатку різко падає (до точки А), а потім практично не змінюється. У цій зоні відбувається перехід прямолінійного руху центру мас трактора на кругове рух (рис. 3.4,0).

У другій зоні відбувається практично лінійне наростання основних кінематичних параметрів (рис. 3.4, а) та кутів уведення коліс (рис. 3.4,б).

Центр мас рухається по колу (рис. 3.4, в).

У третій характерній зоні, починаючи з точки, спостерігається різке наростання кутів відведення керованих коліс (рис. 3.4,б), а також зниження інтенсивності наростання бічної швидкості V_y та кута повороту трактора $\theta_{\text{тр}}$

(Лінії 2 і 3 на рис. 3.4,а). Ці процеси пояснюються появою та наростанням прослизання в зоні контакту керованих коліс з дорогою. Умовно будемо вважати, що дана зона закінчується при досягненні залежностей $V_y = f(t)$ та $\theta_{\text{тр}} = f(t)$ (лінії 2 і 3 на рис. 3.4, а) своїх екстремальних точок.

Кут, у якому закінчується третя зона (точка С рис. 3.4), надалі будемо називати критичним кутом повороту керованих коліс $\theta_{\text{кр}}$, оскільки трактор у своїй втрачає стійке кругове рух (рис. 3.4,в).

Слід зазначити, що розглянутий процес повороту відбувався досить повільно за часом. Якщо розглянути швидший поворот трактора, то спостерігатимуться аналогічні зміни, але за інших чисельних значення фізичних величин. Так при прискоренні повороту на два рази (k_θ = 2 град/с), отримаємо менший критичний час повороту $t_{\text{кр}}$ = 18,7с. і, як наслідок, менший критичний кут $\theta_{\text{кр}}$. Останнє слід пояснити тим, що на процес повороту впливають не тільки кути керованих коліс, але й динамічні чинники, які можуть дуже суттєво змінювати кути відведення та, отже, впливати на стійкість трактора.

Таким чином, навіть при постійних кутах установки керованих коліс і шворнів поворотних цапф критичний кут $\theta_{\text{кр}}$. буде змінюватися при зміні коефіцієнта швидкості повороту k_θ. Отже, величина $\theta_{\text{кр}}$. може характеризувати стійкість руху трактора, проте необхідно вибрати за яких коефіцієнтів швидкості повороту k_θ слід обчислювати ці величини.

Для вибору величин k_θ провели аналіз залежності $k_\theta = f(\theta_{\text{кр}})$ при двох варіантах кутів установки керованих коліс та шворнів поворотних цапф: для стандартних (заводських) значень цих кутів та для нульових значень

$\gamma = \varepsilon = \beta = \psi = 0$. Цей аналіз дозволив зробити висновок, що, починаючи з k_θ= 4 град/с, величини $\theta_{\text{кр}}$ змінюються вкрай незначно і при $\kappa_\theta \longrightarrow \infty$ прагнуть спільної межі. Крім того, з аналізу випливає, що за

коефіцієнтів швидкості повороту менших κ_θ=1 град/с $(k_\theta \longrightarrow 0)$також відбувається стабілізація величин $\theta_{\text{кр}}$. Тому при дослідженні стійкості кругового рух величину критичного кута повороту керованих коліс k_θ обчислюватимемо за кількох значеннях k_θ: 1; 2; 3; 4 град/с. А оцінку стійкості будемо проводити за середньою величиною критичного кута $\theta_{\text{крит}}$.

3.3. Опір руху трактора

Сила опору руху є величиною абсолютною і, як було зазначено, на неї крім кутів установки керованих коліс впливають і інші параметри. При цьому збільшення сили опору руху викликає збільшення витрати палива та підвищений знос шин, тобто. Погіршує основні експлуатаційні показники машини.

Сила опору руху є величиною абсолютною і, як було зазначено, на неї крім кутів установки керованих коліс впливають і інші параметри. При цьому збільшення сили опору руху викликає збільшення витрати палива та підвищений знос шин, тобто. Погіршує основні експлуатаційні показники машини.

Проведемо аналіз зміни сили опору від кута розвалу а при фіксованому значенні кута сходження ε. Очевидно, що при збільшенні кута розвалу а сила опору коченню змінюється за лінійною залежності. Причому вона може як збільшувати (при малих значеннях ε), так і зменшуватися (при великих Сила опору руху є величиною абсолютною і, як було зазначено, на неї крім кутів установки керованих коліс впливають і інші параметри. При цьому збільшення сили опору руху викликає збільшення витрати палива та підвищений знос шин, тобто. Погіршує основні експлуатаційні показники машини.

Проведемо аналіз зміни сили опору від кута розвалу *а* при фіксованому значенні кута сходження ε . Очевидно, що при збільшенні кута розвалу а сила опору коченню змінюється за лінійною залежності. Причому вона може як збільшувати (при малих значеннях ε), так і зменшуватися (при великих ε), залежно від співвідношення третього і четвертого доданків), залежно від співвідношення третього і четвертого доданків), залежно від співвідношення третього і четвертого доданків.

Аналогічний аналіз залежності сили опору від кута сходження ε при фіксованому значенні кута розвалу а дозволяє виявити екстремальне значення

(мінімум) P_y. Величина кута сходження, при якому існує мінімум сили, що визначається після диференціювання залежності і може бути обчислена

$$\varepsilon_{\text{опт}} = \frac{1}{2}\chi\alpha \qquad (3.5)$$

Отже, оптимальне значення кута сходження $\varepsilon_{\text{опт}}$ залежить від значення кута розвалу a, а при його нульовому значенні воно також дорівнює нулю.

Таким чином, аналіз залежності показав, що величина опору руху машини буде найменшою при нульових значеннях кутів установки керованих коліс $P_v = P_f$. Це пояснюється тим, що за кочення колеса в площині перпендикулярної опорної поверхні та паралельної вектору швидкості відсутні додаткові сили, викликані кінематичними невідповідностями між лінійним переміщенням машини та обертальним рухом колеса. Будь-яка зміна кутів установки тягне за собою якісь кінематичні неузгодженості та викликає додаткові сили у плямі контакту. Для подолання цих сил потрібні енергетичні витрати, що збільшують опір руху колеса. Детально ці сили розглянуті у роботі.

Внаслідок цього для оцінки впливу тільки кутів установки керованих коліс на опір руху, як критерій оцінки будемо використовувати коефіцієнт ефективності кочення кочення, який для керованих коліс (або колеса) визначатиметься наступним співвідношенням

$$\eta_k = P_f / P_v \qquad (3.6)$$

Тоді при зменшенні величини сили опору руху P_v коефіцієнт ефективності кочення збільшується, а в граничному випадку (при P_v=P_f стає рівним одиниці.

Аналізуючи наведені графікі виплив, що навіть за оптимального співвідношенні кутів a або ε з їх збільшенням коефіцієнт ефективності кочення зменшується (сила опору руху зростає). Це дозволяє зробити висновок, що для зменшення сили опору руху P_v, доцільно вибирати кути розвалу та сходження

керованих коліс рівні нулю. Однак необхідно враховувати, що це може призвести до Засудження керованості, стійкості чи маневреності машини.

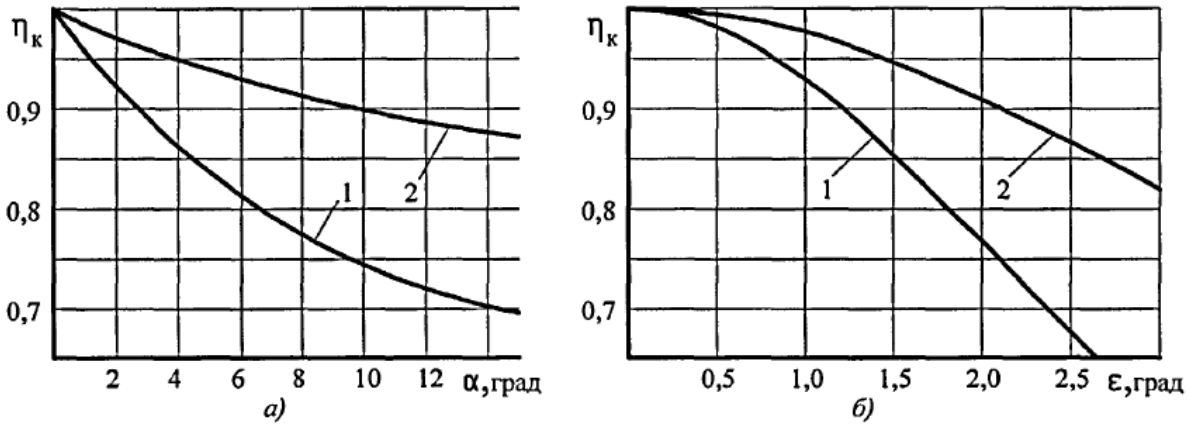


Рис. 3.5. Зміна коефіцієнта ефективності кочення η_k при різних кутах розвалу a (а) та сходження ε (б)

Наведені залежності (лінії 1 на рис. 3.5), розглянуті стосовно до керованих колес. Аналогічні залежності можна отримати й у транспортного засобу загалом, тобто. для машини з керованими та некерованими колесами.

Таким чином, при прямолінійному русі трактора на величину сили опору руху істотно впливають кут сходження керовані колеса ε і кут їх розвалу a. Останній визначається кутом поперечного нахилу шкворня β і кутом відхилення площини колеса від осі шкворня ψ. Зазначимо, що поздовжній кут установки поворотної шворня цапфи при прямолінійному русі не впливають на силу опору руху колеса.

Далі розглянемо впливом геть коефіцієнт ефективності кочення η_k трактора МТЗ-80 кожного з розглянутих кутів при постійному значенні другого кута. При розгляді впливу одного з кутів величини інших прийматимемо рівними «заводським» значенням.

Наведена залежність (Рис. 3.6,a) має максимум при нульовому вугіллі розвалу a. Значення коефіцієнта ефективності кочення у своїй майже одно одиниці. Збільшення або зменшення цього кута a до зменшення величина

коефіцієнта η_k. Причому зміна розвалу в межах 1° практично не відбивається на зміні коефіцієнта ефективності для трактора (0,6...0,7%). Подальша зміна *a* тягне за собою більш суттєве зменшення η_k. Наприклад, при збільшенні кута розвалу на 3° величина коефіцієнта η_kдля трактора зменшується на 4,1...4,6%. Великі з наведених цифр відповідають збільшенню коефіцієнта розвалу *a*, а менші – зменшенню.

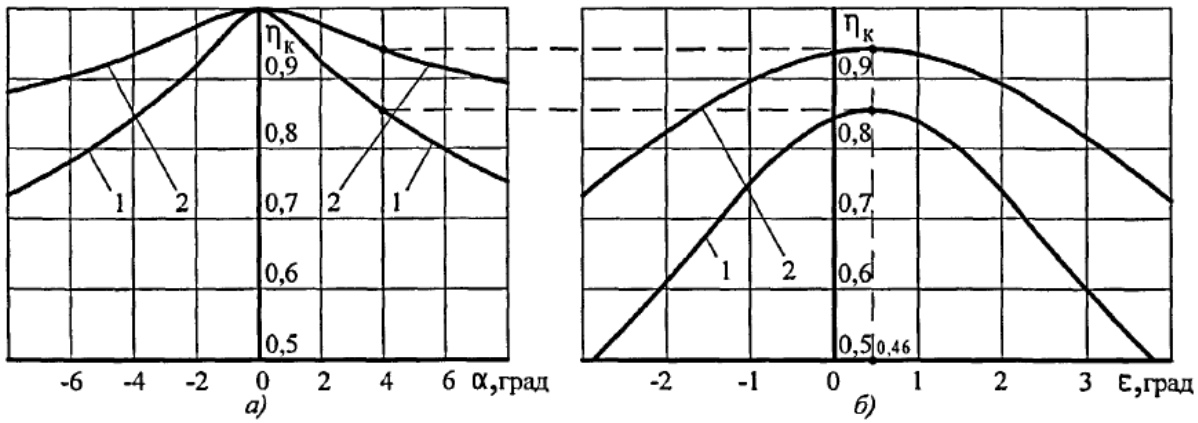


Рис. 3.6. Залежність коефіцієнта ефективності кочення т]к від кутів установки керованих коліс трактора

Величини кутів установки керованих коліс, що використовуються в даний час час на тракторі МТЗ-80 (ε = 0,125°; *a* = 4°), дають відносно низький коефіцієнт η_k= 0,947. Це викликано тим, що поєднується малий кут сходження з великим кутом розвалу.

Для проведення аналізу впливу сходження (відведення) на опір

руху на рис. 3.6 *б* наведено залежності коефіцієнтів ефективності

коченню η_k кута ε. Як і в попередніх випадках, лінія 1 відноситься

до керованих колес, а лінія 2 - до трактора в цілому. Зміна даних залежностей має також падаючий характер, як і залежностей, наведених на рис. 3.6, *а.* Своє максимальне значення коефіцієнт ефективності кочення приймає, відповідно, при куті сходження $\varepsilon_{опт}$ = 0,458°. Причому, на лінії 1 цей максимум становить 0,855, але в лінії 2 - 0,947.

На відміну від попередніх графіків лінії 1 та 2 на рис. 3.6 *б* мають вісь симетрії, що проходить через $\varepsilon_{\text{опт}}$- У цьому випадку, облік фізичних процесів, що відбуваються у плямі контакту при однакових чи різних (у напрямку) змінах кутів *а* і ε забезпечується зміщенням осі симетрії щодо осі ординат.

Далі доцільно з використанням залежностей на рис. 3.6 *б* провести чисельний аналіз впливу кутів сходження s на величини коефіцієнта ефективності кочення.

З аналізу графіків випливає, що за зміни кута ε на 1° коефіцієнт ефективності кочення для трактора зменшується практично на 10%, а за зміни на 3° — на 27%. Наведені дані дозволяють зробити висновок, що кут сходження робить більш істотний вплив на опір руху колеса, ніж кут розвалу. Це підтверджується і в низці інших робіт, зазначених раніше.

Графіки наведені на рис. 3.6 *б*, мають максимальні величини коефіцієнтів ефективності кочення значно нижче, ніж рис. 3.6, *а*. З зазначеного випливає, що зменшення величини одного з аналізованих кутів при фіксованому значенні не гарантує зменшення сили опору руху, а може призвести до її збільшення.

Аналіз залежностей коефіцієнта ефективності кочення η_k до і від кутів установки керованих коліс дозволяє зробити висновок, що для прямолінійного руху кожному значенню кута розвалу коліс відповідає єдине значення кута сходження, при якому величина даного коефіцієнта буде найбільшою. Однак незначні відхилення кутів та ε від оптимальних величин практично не впливають на коефіцієнт ефективності кочення η_k.

При збільшенні кута розвалу необхідно збільшувати кут сходження.

Це призведе до погіршення коефіцієнта ефективності кочення, але це погіршення буде згладжено.

Аналіз залежностей, наведених на рис. 3.6 показує, що позитивний зміни кута розвалу має відповідати позитивному значення кута сходження і навпаки негативної зміни куту розвалу - негативний кут сходження.

4. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАКТОРІВ І АВТОМОБІЛІВ

4.1. Правила техніки безпеки під час роботи на тракторах і автомобілях

4.1.1. Фактори, що впливають на безпеку праці на тракторах і автомобілях

Охорона праці – це система законодавчих актів і відповідних їм соціально-економічних, технічних, гігієнічних і організаційних заходів, що гарантують безпеку, забезпечують збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Основні складові частини охорони праці: трудове законодавство, техніка безпеки і виробнича санітарія.

Техніка безпеки – це система організаційних і технічних заходів тазасобів, що запобігають впливу на працюючих небезпечних виробничих факторів.

Вимоги техніки безпеки, безпеки руху, пожежної безпеки, електробезпеки та гігієни праці під час роботи на тракторах і сільськогосподарських машинах регламентують «Єдині вимоги до конструкції тракторів і сільськогосподарських машин з безпеки і гігієни праці». Всі керівні матеріали (технічні умови, правила, інструкції), що визначають конструктивні та технологічні вимоги до машин, мають бути пов'язані з ними.

Джерелами шкідливих і небезпечних виробничих чинників під час експлуатації тракторів і автомобілів техніки є:

- зовнішні метеорологічні умови (вітер, опади, низька або висока температура повітря, ожеледиця тощо);
- машинно-тракторні агрегати під час їх роботи;
- машини і механізми технологічних систем для обробітку ґрунту, догляду за рослинами та тваринами тощо;
- устаткування, що працює під тиском;
- застосовувані пестициди й агрохімікати;
- електрифіковане устаткування, інструмент і електромережі;

· ручні роботи, що зумовлюють фізичне і нервово-психічне перевантаження;

· відкриті обертові і рухомі частини машин і обладнання;

· несправність або відсутність блокувального пристрою запускання пускового двигуна за ввімкненої передачі;

· несправність гальмівної системи трактора чи іншої самохідної сільськогосподарської машини;

· несправність муфти зчеплення;

· несправність рульового керування;

· несправність або відсутність освітлювальних і контрольних приладів;

· несправність або відсутність реверса робочих органів, які забиваються технологічним продуктом;

· відсутність на тракторах автоматичних тягово-зчіпних пристроїв для агрегатування причіпних машин;

· підтікання палива, оливи, охолоджувальної та інших технологічних рідин;

· відсутність або несправність засобів доступу на робоче місце і до місць обслуговування (підніжки, драбини тощо);

· відсутність пристроїв для запобігання потрапляння технологічної сировини і рослинних решток на поверхні теплообмінних елементів радіаторів, системи охолодження і елементів випускної системи відпрацьованих газів двигуна;

· несправність інструменту, пристроїв, тари тощо;

· слизькі опорні поверхні елементів конструкції машини.

4.1.2. Конструктивні елементи, які підвищують безпеку праці на тракторах і автомобілях

Від стану рульового керування залежить безпека руху, дотримання певної траєкторії при русі по полю, а також кількість помилок при експлуатації, тобто точність водіння. Великий вплив на точність водіння тракторів і автомобілів мають розміри рульового колеса, параметри його положення відносно оператора, вільний хід і сила опору обертанню. Зменшення зусилля на кермі покращує точність водіння та зменшує втому водія. Для зручності керування трактором мінімальна відстань між кермом і сидінням повинна бути 600 мм для чистої підлоги кабіни і 650 мм при додаванні двох важелів перемикання передач.

Обладнання тракторів габаритними вогнями повороту та проблисковими маячками, які спрацьовують під час руху по трасі, а також сигналами для тих, хто рухається на низькій швидкості та аварійною сигналізацією, значно зменшує кількість аварійності на дорогах та магістралях.

Для забезпечення безпеки роботи при виконанні технологічних операцій у різний час доби трактори повинні бути обладнані робочими вогнями, задніми ліхтарями, світловідбивачами червоного кольору і фарами, які спрацьовують під час руху по полю і шосе.

У разі перекидання трактора, порушення поперечної та поздовжньої стійкості, блокування ведучих коліс у конструкції трактора передбачено ряд елементів, що захищають оператора від серйозних травм. Ці елементи включають безпечну кабіну (з каркасом безпеки або спеціальною огорожею), ремені безпеки та баласт для забезпечення більшої стабільності та кращого зчеплення.

Ризик перекидання трактора також зменшують дишло та триточкова навіска, яка запобігає відкочуванню трактора в агрегаті з сільськогосподарськими машинами та обладнанням.

Зручність і безпека в експлуатації досягається за рахунок наявності в комплекті з трактором гідравлічного механізму підйому і опускання сільгосптехніки та обладнання, що дозволяє дистанційно керувати технікою з кабіни трактора, а також наявності ручок капота (більш зручно при установці капота), механізму блокування стартера (зручно і безпечно при запуску двигуна) і пристроїв захисту, що виключають можливість травмування при випадковому зіткненні. з поворотними механізмами. Останній включає захисні кришки вентилятора та генератора, крило заднього колеса, захисну кришку та захисну кришку ВВП.

Для безпечного входу в кабіну тракторів і автомобілів повинні бути поручні, підніжки і підніжки.Необхідна висота нижньої сходинки 350-400 мм над землею, відстань між ступенями 270-295 мм, висота підніжжя 280-320 мм.

Сидіння тракторів мають пружинні сидіння з м'якими набивками, які більш ніж у 1,5-2 рази зменшують силу удару, що передається від рами до тіла водія. Сидіння більшості моделей регулюються в залежності від ваги і розміру, можна змінювати нахил спинки і т. д. Як правило, сидіння повинні мати такі межі регулювання: вага - 50 - 140 кг, довжина - 100 - 150 мм, висота - 60 - 75 мм.

4.1.3. Правила безпечної праці на тракторах і автомобілях

До експлуатації тракторів і транспортних засобів допускаються особи віком від 17 років, які мають посвідчення водія трактора або транспортного засобу та пройшли інструктаж з техніки безпеки.

Роботи можна проводити тільки на тракторі або евакуаторі; Тимчасова робота на інших тракторах чи транспортних засобах допускається з відповідного письмового дозволу. Передавати функції управління трактором або транспортним засобом іншим особам, які не мають на це повноважень, суворо заборонено. Також забороняється робота у дві зміни поспіль, робота на тракторах і транспортних засобах у стані алкогольного сп’яніння.

Особливу увагу слід приділити пожежній безпеці. Трактори, самохідні шасі та транспортні засоби повинні мати пристрої для автоматичного регулювання інтенсивності охолодження двигуна або регулювання її з робочого місця водія. Для захисту серцевини радіатора, повітрозабірника циліндрів двигуна з повітряним охолодженням і міжребрового простору повинні бути забезпечені швидкознімними сітками або іншими пристроями від засмічення технічними відходами (солома, полова тощо).

Під час монтажних робіт двигуни самохідних тракторів і стаціонарних машин повинні бути обладнані шумоглушниками, іскрогасниками або іскрогасниками. Іскрогасники та конструкція іскрогасників повинні забезпечувати можливість очищення скла.

Вихлопні труби двигуна не повинні бути спрямовані в бік легкозаймистих рослинних мас, а також у бік процесів машин, призначених для збору технологічної продукції. Трактори, самохідні шасі та автомобілі обладнуються необхідними первинними засобами пожежогасіння (вогнегасники, совкові лопати тощо). Вони запобігають потраплянню палива, масла і вихлопних газів в місця з'єднань випускного колектора з двигуном і вихлопними трубами.

Забороняється використовувати відкритий вогонь (сірники, смолоскипи тощо) під час вимірювання рівня палива та транспортних засобів; Нагрійте двигун і масло відкритим вогнем; Використовуйте обладнання для заправкиUn, що не дозволяє відключати заправку; Наявність запасу паливно-мастильних матеріалів у тракторах і автотранспорті; Відкривати пробки, вдаряючись об металеві предмети; розпалювати багаття поблизу машин і обладнання; Використовуйте бензин для миття деталей і рук. Вішайте одяг або кладіть сторонні предмети на вогнегасник.

Особливу обережність слід дотримуватися при використанні суміші етиленгліколю і води як охолоджувача (антифризу), оскільки це сильна отрута.

Суворе дотримання вимог безпеки забезпечує безпеку роботи на тракторі, підвищує його надійність і довговічність.

Акумулятори використовують електроліт із сірчаної кислоти та дистильованої води (у певних пропорціях). Оскільки сірчана кислота є сильною отрутою, при роботі з нею слід суворо дотримуватися правил безпеки. При обслуговуванні акумуляторних батарей і роботі з концентрованою сірчаною кислотою або електролітом необхідно користуватися захисними окулярами, гумовими рукавичками, гумовими фартухами, вовняними спецодягом і калошами, а також пристосуваннями для безпечної роботи. Якщо кислота або електроліт потрапили на тіло або одяг, ретельно промийте шкіру холодною водою. В одязі кислоту необхідно спочатку нейтралізувати 5-10% розчином соди або нашатирного спирту, а потім прополоскати водою.Лити воду в кислоту під час приготування електроліту категорично заборонено! Оскільки вода легше кислоти, вона залишається на її поверхні, швидко нагрівається, скипає і розбризкується разом з кислотою.

Під час перевірки напруги акумуляторної батареї навантажувальною вилкою корки акумуляторів мають бути щільно загорнуті для попередження вибуху гримучої суміші.

У приміщенні зарядної станції та поблизу акумуляторних батарей категорично заборонено розпалювати вогонь і палити, оскільки виділяється наприкінці зарядки акумуляторів гримучий газ (суміш водню з киснем) вибухонебезпечний.

Підготовка трактора і автомобіля до роботи, а також проведення операцій з технічного обслуговування, усунення несправностей і очищення слід виконувати тільки за непрацюючого двигуна і загальмованої машини.

У разі розконсервації деталей трактора і механізмів додаткового обладнання дотримються таких вимог:

1. Приміщення, де проводиться розконсервація, мають бути обладнані припливно-витяжною вентиляцією та мати необхідні засоби пожежогасіння.

2. Ванни для розчинників мають щільно закриватися накривками.

3. Використане обтиральне ганчір'я, а також знятий промаслений папір слід складати в металеві ящики з накривкою; наприкінці зміни папір і ганчір'я слід складати у спеціально відведених місцях.

4. У місцях, де проводять розконсервацію, зберігати і приймати їжу заборонено.

Загальні вимоги до технічного стану трактора.

1. Обкатка нового трактора не потрібна. Проте протягом перших 50 год роботи слід особливо ретельно виконувати всі операції технічного обслуговування згідно з наведеними в цій інструкції вимогами.

2. Трактор має бути комплектним і технічно справним.

3. Не допускається демонтаж з трактора передбачених захисних кожухів або огорож, а також інших деталей і складанних одиниць, що впливають на безпеку його роботи.

4. За включеного діапазону коробки передач дизель не має запускатися стартером.

5. Гальмівна система трактора має забезпечувати на сухій горизонтальній дорозі з асфальтобетонним покриттям зупинку трактора, що рухається зі швидкістю 30 км/год, на дорозі не більше 13 м за холодних гальм.

6. Стоянкове гальмо маєутримувати трактор у загальмованому стані на сухій дорозі з твердим покриттям на схилі 20 о, а з навантаженим причепом – 12 о.

7. Шини не повинні мати наскрізних тріщин і розривів, а також повного зносу малюнка протектора.

8. Електрообладнання має бути справним, а також виключати можливість іскроутворення і витоків струму в проводах і клемах, особливо поблизу нагрітих частин і в місцях, де можливе потрапляння на них оливи і палива.

9. Акумуляторні батареї мають бути надійно закріплені, не мати підтікань електроліту і закриті накривкою.

10. Важелі і рукоятки управління мають надійно фіксуватися у відповідних положеннях.

11. Муфта зчеплення має забезпечувати повне вимкнення, плавне ввімкнення і під час роботи не пробуксовувати.

12. Кермо має бути в справному стані: люфт рульового колеса – не більше 25 о, поворот рульового колеса має бути плавним у разі повороту від одного упору до іншого.

13. Збіжність напрямних коліс маєбути 0 – 4 мм.

14. Скло кабіни не повинно мати тріщин і затемнень, що погіршують видимість.

15. Склоочисники мають забезпечувати повне очищення стекол.

16. Замки дверей мають бути справними.

17. Контрольно-вимірювальні прилади повинні мати освітлення.

18. На підлозі кабіни має бути гумовий килимок.

19. У паливній системі не має підтікати паливо, а в інших місцях – олива і вода.

Заходи безпеки під час роботи трактора.

1. Присутність у кабіні пасажира під час роботи трактора категорично забороняється.

2. Перед початком роботи слід ретельно оглянути трактор, сільськогосподарські машини або знаряддя. Тільки переконавшись у їхній повній справності, починати роботу.

3. Перед пуском дизеля переконатися в тому, що важіль перемикання діапазонів коробки передач і рукоятки управління гідророзподільника знаходяться в нейтральному положенні, ВВП вимкнений а трактор загальмований стоянковим гальмом. Контрольні лампи заряду і тиску оливи світяться.

4. Перед рушанням з місця переконатися, що шлях вільний і між трактором і сільськогосподарською машиною немає людей. Про початок руху слід попередити працюючих сигналом на причіпний машині.

5. Під час руху трактора заборонено сходити з трактора і сідати на нього. Перед тим, як зійти з трактора, обов'язково встановити важіль перемикання діапазонів в нейтральне положення і загальмувати трактор стоянковим гальмом.

6. У разі роботи трактора в агрегаті з різними за призначенням машинами і знаряддями слід дотримуватися правил безпеки, викладених в настанові з експлуатації цих машин і знарядь.

7. Якщо на сільськогосподарській машині не обладнане робоче місце, то перебувати на ній допоміжному працівнику під час роботи тракторного агрегату заборонено. Під час переїздів заборонено знаходитися допоміжним працівникам на сільськогосподарській машині. Також забороняється проїзд людей на причепах і напівпричепах.

8. Стежити за показаннями контрольних приладів та їх справністю. Не рекомендовано працювати на тракторі з несправними приладами.

9. Не допускати димлення дизеля і значного падіння частоти обертання від перевантаження.

10. Не докладати великих зусиль під час користування важелями перемикання передач, діапазонів і реверса.

11. Карданні вали, що передають обертання від ВВП трактора на робочі органи агрегату, слід огороджувати кожухами.

12. Під час короткочасних зупинок для огляду агрегату, що працює з використанням ВВП, слід вимкнути муфту ВВП, а важелі управління урухомленням ВВП встановити в нейтральне положення.

13. Для запобігання поломкам хвостовика ВВП після від'єднання причіпної або начіпної сільськогосподарської машини, що працює від ВВП, карданний вал слід зняти, а хвостовик ВВП закрити захисним ковпаком.

14. Не можна різко гальмувати під час їзди по слизькій дорозі.

15. Не допускається робота трактора без електроосвітлення в нічний час. Електроосвітлення має бути справним.

16. Стежити за справністю контактів та ізоляції проводів.

17. Заборонено очищати, змащувати, ремонтувати і регулювати машини під час руху трактора, з ввімкненим ВВП і працюючим дизелем.

18. Всі причепи до трактора повинні мати жорсткі зчіпки, що не дозволяють причіпним сільськогосподарським знаряддям або вантажним візкам набігати на трактор.

19. Під час навішування знарядь або машин, регулювання навісних пристроїв, а також перестановки упору на штоку гідроциліндра (переднього навісного пристрою) заборонено перебувати між поздовжніми тягами.

20. Не можна залишати навісне знаряддя в піднятому положенні у разі тривалої зупинки трактора без механічної фіксації навісного пристрою в транспортному положенні.

21. Заборонено перебувати під трактором у разі працюючого дизеля. Усунення несправностей трактора виконуйте тільки за непрацюючого дизеля з опущеними навісними машинами або знаряддями і ввімкненого стоянкового гальма.

22. Забороняється збільшувати швидкість трактора вище 16 км/год під час його експлуатації на здвоєних колесах.

23. Проїзд через залізничні колії дозволяється тільки у встановлених місцях на нижчих передачах, без перемикання діапазонів коробки передач з гідромуфтами і передач і діапазонів механічної коробки передач.

24. Під час запуску дизеля з буксира слід переконатися у наявності тиску в пневмосистемі.

25. Після закінчення роботи оператор зобов'язаний попередити змінника про всі несправності трактора.

26. Не допускається відкривати корок радіатора неохолонутого дизеля. У разі такої необхідності відкривати корок слід у рукавицях, прийнявши запобіжні заходи проти опіку.

ВИСНОВКИ

1. Запропоновано безрозмірні критерії (коефіцієнти ефективності), що дозволяють оцінювати якісний рівень роботи трактора, а також розроблено методику їх визначення та використання. Як основне (інтегрального) критерію прийнято узагальнений коефіцієнт ефективності, який визначається виходячи з чисельних значень окремих коефіцієнтів ефективності з урахуванням їхньої значущості. Як приватні критерії використані: коефіцієнт ефективності кочення, що характеризує опір коченню; коефіцієнт маневреності, що дозволяє чисельно оцінити можливість маневрування машини; коефіцієнт ефективності управління, що характеризує стійкість та керованість колісної машини.

2. Розроблено математичну модель для опису положення площини керованого колеса в залежності від кутів установки колеса, кута його повороту та кутів, що визначають положення шворня поворотної цапфи.

3. На основі досліджень кочення тракторного керованого еластичного колеса з відведенням за жорсткою основою запропонована залежність, що дозволяє оцінити вплив кутів установки керованих коліс та кутів їх повороту на опір руху трактора. Середньоквадратичне відхилення результатів розрахунків з даними експериментальних досліджень для тракторної шини 7,5-20 моделі В-103 за зміни кута відведення до 6° і в діапазоні внутрішніх тисків повітря в шині від 0,16 до 0,218 МПа вбирається у 7,6%.

4. На прикладі трактора МТЗ-80 було проведено чисельний аналіз впливу різних кутів установки керованих коліс та шворнів поворотних цапф на узагальнений коефіцієнт ефективності. В результаті встановлено, що найбільший вплив на величину узагальненого коефіцієнта ефективності надає кут розвалу. Причому кожному чисельному значенню кута розвалу коліс відповідає оптимальне значення кута сходження, навіть незначне відхилення від якого призводить до суттєвого падіння узагальненого коефіцієнта ефективності. Кут подовжнього нахилу шкворня має найменший вплив на

узагальнений коефіцієнт ефективності та не пов'язаний з іншими кутами установки керованих коліс та шворнів поворотних цапф.

ЛІТЕРАТУРА

1. Галич І. В., Антощенков Р. В., Антощенков В. М. До дослідження динаміки трактора з шарнірно-з’єднаною рамою і урахуванням нерівності опорної поверхні // Інженерія природокористування. 2019. №2(12). С. 28–37.

2. Подригало М.А., Краснокутський В.М. Вплив причіпних ланок на керованість тракторних самохідних шасі // Вісник машинобудування та транспорту. 2024. №1(19). С. 109–114. DOI: https://doi.org/1031649/2413-4503-2024-19-1-109-114.

3. Подригало М.А., Шелудченко В.В. Нове в теорії експлуатаційних властивостей автомобілів та тракторів. Навчальний посібник. – Суми: Сумський національний аграрний університет, – 2015. – 213 с.

4. Динаміка колеса автомобіля. Монографія [текст] / А.У. Абдулгазіс, Д.В. Абрамов, М.П. Артьомов, В.І. Гацько, З.Е. Забелишенський, Д.М. Клец, О.О. Назарько, М.А. Подригало, О.С. Полянський, М.М. Потапов, В.Л. Файст; під ред. М.А. Подригало та О.С. Полянського. – Х.: ХНАДУ, 2019. – 199 с.

5. Є. І. Калінін, М. А. Кусков, О. М. Бельорін-Еррера. Особливості повороту шарнірно-зчленованого трактора // Системи управління, навігації та зв'язку. 2022. Випуск 1(67). С. 30–33.

6. Клец Д. М. Определение взаимосвязи между критериями маневренности колесных машин // Вісник НТУ «ХПІ». 2013. № 31 (1004). С. 35–43.

7. Волонцевич Д. О. К вопросу моделирования подсистемы эластичное колесо-дорога для шарнирно-сочленѐнных колѐсных машин / Д. О. Волонцевич, В. А. Карпенко, В. М. Качур // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Сер. Автомобіле- та тракторобудування. 2004. № 16. С. 149–156.

8. Динаміка руху колісних тракторів: монографія / Б. І. Кальченко, О. Ю. Ребров, А. Г. Мамонтов, А. П. Кожушко, М. Є. Якунін. – Харків. Видавець: О. А. Мірошниченко, 2021. – 320 с.

9. Мамонтов А. Г. Формування математичної моделі динамічної навантаженості ходової системи колісного трактора з напівпричіпним агрегатом / А. Г. Мамонтов, А. П. Кожушко, О. Ю. Ребров // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». 2019. № 1. С. 29–41.

10. Кальченко Б. І. Дослідження динамічної стійкості та плавності руху колісних тракторів / Б І. Кальченко, А. П. Кожушко // Вісник НТУ «ХПІ». 2017. № 44 (1266). С. 110–115.

11. Кальченко Б. І. Плавність руху як складова динаміки трактора: монографія / Б. І. Кальченко, О. Ю. Ребров, А. П. Кожушко, А. Г. Мамонтов. – Х.: ФОП Панов А.М., 2018. – 164 с.

12. Ребров О. Ю. Теоретичне обґрунтування основних параметрів колісних сільськогосподарських тракторів / Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів, ХНТУСГ. 2017. №8. С. 243–254.

13. Кожушко А. П. Дослідження плавності руху машиннотракторного агрегату з перемінною масою при виконанні транспортної роботи / А. П. Кожушко // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. 2019. № 15. С. 50–57.

14. Надикто В., Кюрчев В. Нові елементи теорії тягової динаміки та експлуатації колісних тракторів // Техніка і технології АПК. 2021. №4 (117). С. 21–26.

15. Кальченко Б. І. Вплив плавності ходу колісних тракторів на навантаженість трансмісії / Б. І. Кальченко, О. Ю. Ребров, А. П. Кожушко // Автомобильный транспорт. 2017. № 41. С. 30–37.

16. Надикто В. Визначення номінального тягового зусилля трактора // Bulletin of Agricultural Science. 2024. №12. С. 51–56.

ДОДАТОК 1

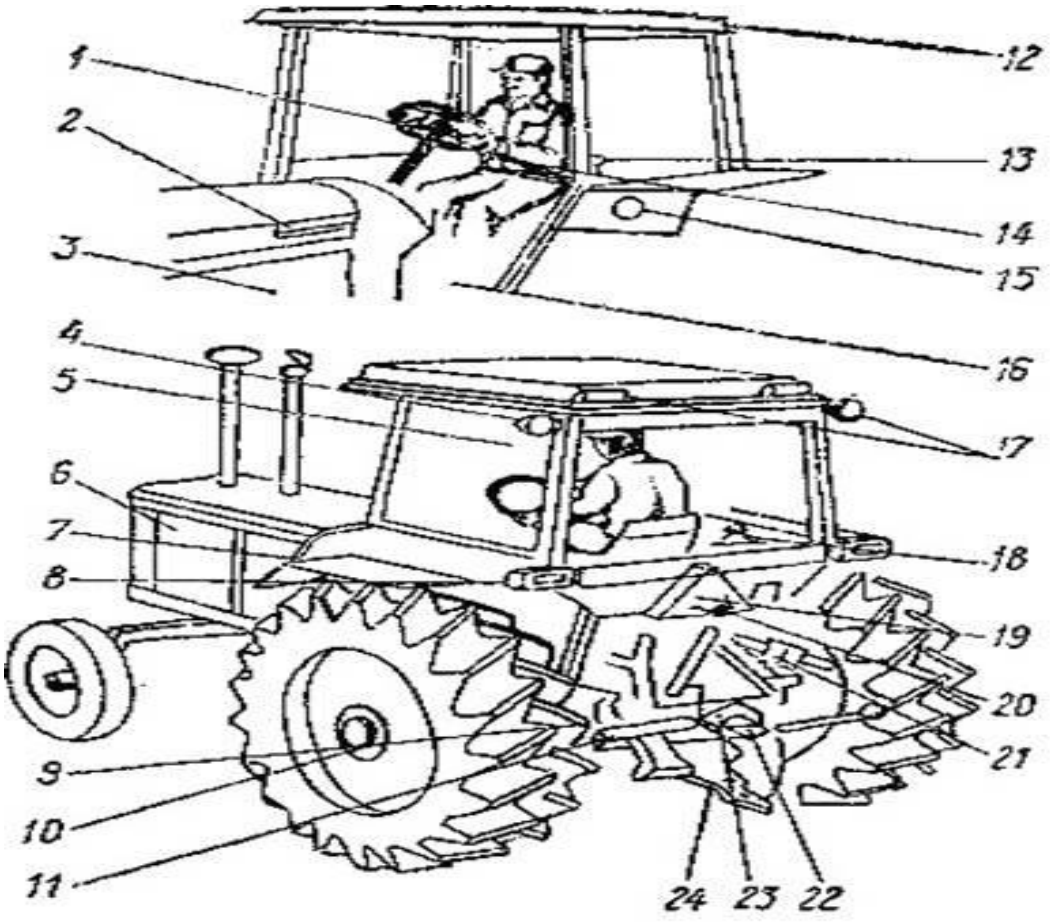
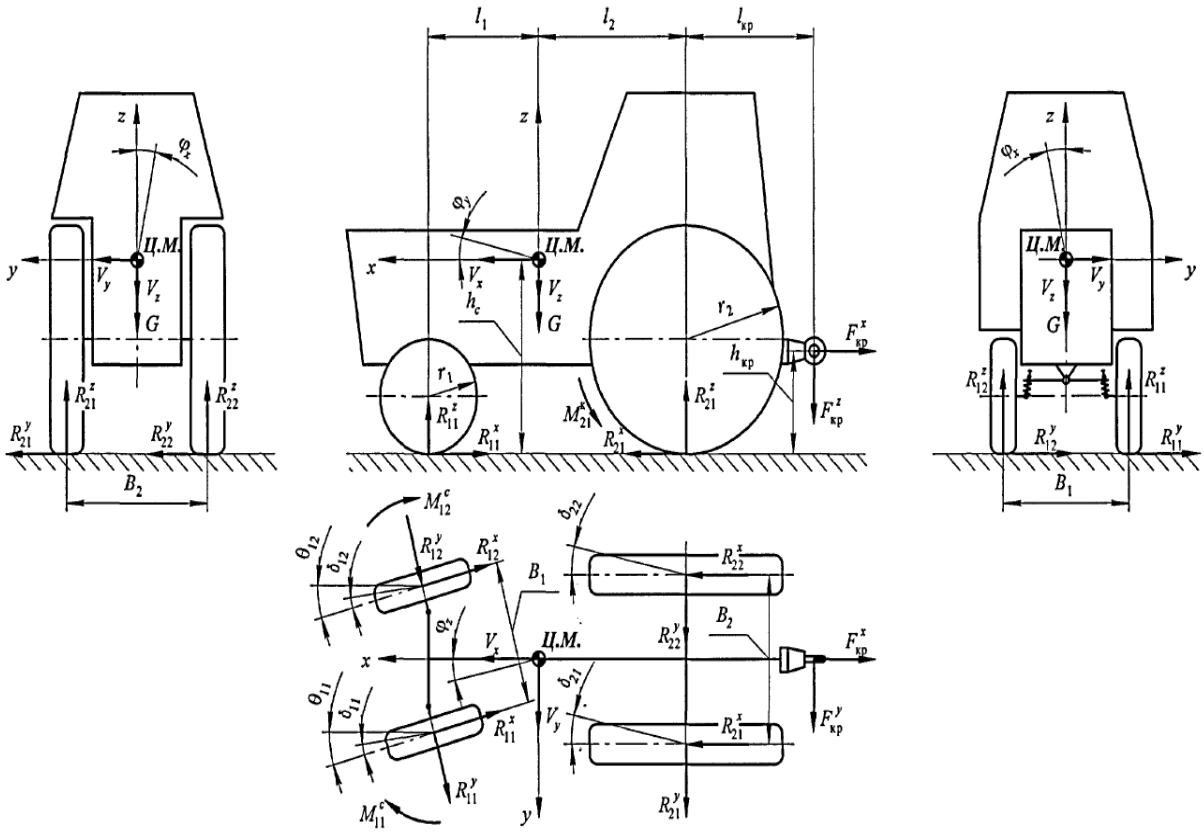


Рис.4.1.1. Конструктивні елементи, що гарантують безпеку роботи на тракторах:

1 – ручне рульове управління; 2 – ручки для встановлення капота; 3 – блокування стартера; 4 – фари робочого освітлення; 5 – широкопанорамне остеклення кабіни; 6 – захисні кожухи для вентилятора і генератора; 7 – крила задніх коліс; 8 – задні ліхтарі, червоні світловідбивачі; 9 – гідроначіпний механізм; 10 – баласт; 11 – триточковий начіпний пристрій; 12 – безпечна кабіна; 13 – регульоване сидіння; 14 –пасубезпеки; 15 – передні фари; 16 – підніжки, сходинки, педалі, поручні; 17 – ліхтарі світлового сигналу повороту і миготливі ліхтарі, які вмикають під час руху по шосе; 18 – прилади та елементи управління, розташовані поблизу оператора; 19 – знак машини, що рухається з малою швидкістю; 20 – сигнал, що попереджає про небезпеку; 21 – швидкознімні гідравлічні муфти; 22 – захисний кожух ВВП; 23 – захисна накривка ВВП; 24 – тяговий брус

ДОДАТОК 2


l_1
l_2
$l_{кр}$
z
y
x
Ц.М.
V_y
V_z
V_x
G
h_c
$h_{кр}$
r_1
r_2
B_1
B_2
R_{21}^z
R_{22}^z
R_{21}^y
R_{22}^y
R_{11}^z
R_{12}^z
R_{11}^y
R_{12}^y
R_{11}^x
R_{12}^x
R_{21}^x
R_{22}^x
M_{21}^c
M_{12}^c
M_{11}^c
$F_{кр}^x$
$F_{кр}^y$
$F_{кр}^z$
θ_{12}
δ_{12}
θ_{11}
δ_{11}
δ_{22}
δ_{21}