

ДОСЛІДЖЕННЯ МАНЕВРЕНОСТІ КОМБІНОВАНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ АГРЕГАТІВ

Макаренко М.Г., доц., Кулаков Ю.М., ст. викл.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства
імені Петра Василенка*

Макаренко О.М., менеджер

UkrFarming

Наводяться результати досліджень факторів, що впливають на маневрові якості комбінованих сільськогосподарських агрегатів на базі тракторів.

Вступ. Проблема підвищення ефективності використання тракторів тісно пов'язана з вибором оптимальної потужності, що відповідає масі трактора та підвищенню його маневрових якостей, які забезпечуються засобами його автоматичного керування. З метою забезпечення високих експлуатаційних якостей необхідно підвищити маневрові якості машинно-тракторних агрегатів (МТА) та гарантувати стабільність руху по заданій траєкторії (по полю та при розворотах) з використанням сучасних засобів автоматичного керування.

Вирішення цієї проблеми тісно пов'язана з вдосконаленням силової взаємодії сільськогосподарської машини і трактора при різних схемах навішування.

При цьому змінюються маневрові властивості МТА, що впливають на ефективність його використання. Дані експлуатаційні властивості в значній мірі залежать від положення центру мас і моментів інерції, які впливають на перерозподіл навантаження між опорними колесами і, відповідно, на їх зчеплення з ґрунтом, деформацію і відведення шин.

Аналіз публікацій. Дослідженню питань маневреності колісних машин та проведенню аналізу впливу маневреності на продуктивність, встановленню тенденцій розвитку відповідних технічних засобів неодноразово розглядалось провідними вченими. Так приводяться і аналізуються визначення властивості маневреності (М) у формулюваннях Е.А. Чудакова, А.М. Ляпунова, В.В. Гуськова, Л.В. Смірнова, А.Е. Фаробіна [1, 2] і ін. Розглянуті основні показники і характеристики руху, що визначають співвідношення параметрів машин, які забезпечують стійкість руху по заданій траєкторії.

В роботах М. А. Подригало, В.П. Волкова, О.А. Бобошко проведений аналіз зчепних властивостей автомобільних шин з опорною поверхнею [3, 4]. Вказані автори відзначають залежність коефіцієнта зчеплення від тиску в контакт і дотичної напруги в площині контакту, а також розглядають зв'язок коефіцієнта зчеплення з напругою елементів шини в контакт.

Беручи до уваги узагальнене формулювання поняття маневреності, як

властивості машини витримувати задані через рульовий механізм курсовий напрям і траєкторію, слід зазначити, що чисельних оцінок і методу їх визначення, що безпосередньо характеризують точність траєкторії МТА не існує. Це затрудняє попереднє прогнозування маневреності на етапах розробки рекомендацій по створенню на базі тракторів МТА з монтажем технологічних модулів (ТМ) на його передньому і задньому начіпних пристроях та безпосередньо на самому тракторі.

Мета і постановка задачі. Метою роботи є дослідження проблеми підвищення маневреності комбінованих сільськогосподарських агрегатів шляхом розробки заходів по забезпеченню їх руху по заданій траєкторії

Вирішення задачі. Силова дія ТМ на трактор досить складна і різноманітна: на трактор частково або повністю передається сила ваги навішеного ТМ і реактивний опір ґрунту, що діє його на робочі органи. За інших рівних умов силова дія ТМ залежить від місця його розташування відносно трактора, способу зв'язку з трактором і методу регулювання його положення. Зміна характеру навантаження, що діють на ходову частину трактора може позначатися як позитивно, так і негативно на основних показниках агрегату в забезпеченні якісного виконання робочого процесу при заданих показниках продуктивності: стійкості руху, керованості, плавності ходу, тягово-зчіпних властивостях і, таким чином, визначати в цілому її ефективність.

Маневреність залежить від бічної еластичності шин коліс, стабілізації керованих коліс, їхніх коливань і відповідності кінематики підвіски керованих коліс кінематиці рульового приводу. Крім того, вона залежить від зовнішніх умов (поперечного ухилу дороги, величини коефіцієнта зчеплення шин з дорогою, бічного вітру і т.п.).

Траєкторію руху трактора в загальному випадку можна розглядати як криволінійну з кривиною, яка безупинно змінюється. Якщо кривина траєкторії близька до нуля, рух умовно вважають прямолінійним.

Криволінійність руху обумовлена необхідністю здійснювати повороти відповідно до траєкторії, що задається водієм, а також в результаті дії зовнішніх збурювань. Такий рух трактора характеризується зміною в часі положення його подовжньої і вертикальної осей, а також наявністю подовжніх і головним чином поперечних прискорень.

Процес керування рухом трактора характеризують три групи параметрів: траєкторні, курсові та крену. На більшість цих параметрів впливають як конструктивні особливості трактора, так і ергономічні дані водія як керуючої ланки. Тому варто розглядати керованість трактора не ізольовано (як механічної системи), а як керованість машинно-тракторного агрегату (МТА).

Надійність керування трактора забезпечується властивістю системи МТА зберігати стійкість керування в заданих умовах і режимах руху.

Стійкість керування трактора забезпечується властивістю системи МТА виконувати з заданою точністю на визначеному відрізку шляху закон руху, що задається. Вона забезпечується властивістю системи МТА регулювати з заданою точністю різницю кута відведення та проковзування на осях після

втрати трактором курсової стійкості.

Вхід в поворот МТА є найвідповідальнішим моментом здійснення маневру. Здатність колісного агрегату входити в поворот, тобто реагувати на управляючу дію, є характеристикою керованості. Керованість колісного агрегату оцінюється, як правило, по величині кутового прискорення в площині дороги, що виникає при повороті керованих коліс [3]. Кутове прискорення виникає у випадку, якщо момент, що повертає, буде більшим моменту опору повороту. Введено поняття коефіцієнта керованості колісної машини, що є відношенням моменту, що повертає, до моменту опору повороту. В початковий момент часу здійснення повороту цей коефіцієнт (якщо він більше одиниці) показує, що колісний агрегат здатний увійти в поворот. Таким чином, за допомогою вказаного коефіцієнта виникла необхідність дослідити вплив положення центру мас комбінованого МТА на його керованість.

При криволінійному русі по горизонтальній поверхні та відсутності бічних сил на трактор у поперечному напрямку діє тільки сила інерції P_{jy} (рис. 1). Складові цієї сили, що припадають на передні і задні колеса трактора викликають відповідні їм кути відведення δ_1 і δ_2 , які тільки в окремому випадку рівні за величиною.

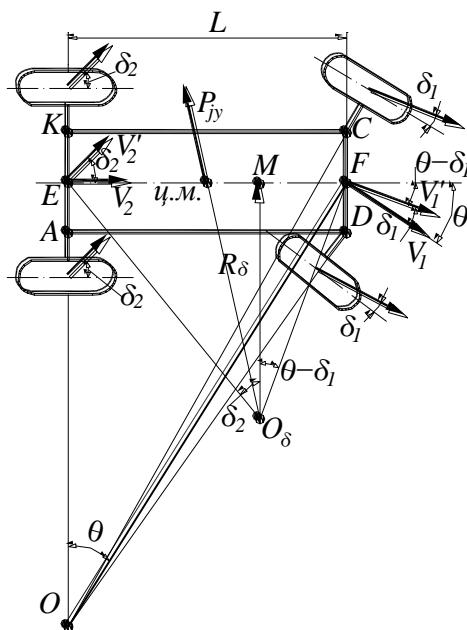


Рис. 1 – Схема повороту трактора при бічному відведенні шин

Відведення правого і лівого коліс однієї осі також неоднакове, внаслідок чого вектори їх швидкостей не рівнобіжні. Для керованих коліс це, зокрема, обумовлюється і поворотом їх на різні кути. У той же час траєкторія руху визначається кутами відведення центрів його передньої і задньої осей, які є середніми між кутами відведення відповідних правих і лівих коліс.

При наявності бічного відведення, на такі ж кути і в той же бік відхиляються вектори швидкостей середніх точок передньої V_1 і задньої V_2 осей. Позначимо нові вектори \vec{V}'_1 і \vec{V}'_2 . Відповідно змінюється і положення миттєвого центра повороту трактора, як точки перетинання перпендикулярів до векторів швидкостей \vec{V}'_1 і \vec{V}'_2 . З урахуванням бічного відведення шин він уже

буде не в точці O , а в точці O_δ . Середній радіус повороту трактора з урахуванням впливу бічного відведення шин R_δ , визначається довжиною перпендикуляра з миттєвого центра повороту на подовжню вісь трактора.

У трикутнику EMO_δ кут $EO_\delta M$ дорівнює по побудові δ_2 , а в трикутнику MFO_δ кут $MFO_\delta = \theta - \delta_1$, де θ , – середній кут повороту передніх керованих коліс.

Тоді

$$\operatorname{tg} \delta_2 = \frac{EM}{MO_\delta} = \frac{EN}{R_\delta}; \quad (1)$$

$$\operatorname{tg}(\theta - \delta_1) = \frac{MF}{R_\delta}. \quad (2)$$

Звідси, оскільки сума $EM + MF = L$ – база трактора, знаходимо середній радіус повороту R_δ трактора з урахуванням впливу бічного відведення шин

$$EM = R_\delta \cdot \operatorname{tg} \delta_2; \quad (3)$$

$$MF = R_\delta \cdot \operatorname{tg}(\theta - \delta_1); \quad (4)$$

$$EM + MF = L = R_\delta [\operatorname{tg} \delta_2 + \operatorname{tg}(\theta - \delta_1)]; \quad (5)$$

$$R_\delta = \frac{L}{\operatorname{tg} \delta_2 + \operatorname{tg}(\theta - \delta_1)}. \quad (6)$$

Враховуючи, що кути відведення невеликі ($5 - 10^\circ$), а кути повороту керованих коліс при високих швидкостях руху, коли відведення істотно впливає на керованість трактора, також не є великими, тангенси кутів можна замінити самими кутами, вираженими в радіанах

$$R_\delta = \frac{L}{\theta + \delta_2 - \delta_1}. \quad (7)$$

Порівняння формул (1) і (7) для визначення середнього радіуса повороту трактора при жорстких колесах (з урахуванням впливу бічного відведення), свідчить про те, що співвідношення кутів відведення коліс передньої осі δ_1 і задньої осі δ_2 у різному ступені змінюють величину середнього радіуса. Якщо кути відведення коліс передньої і задньої осей однакові ($\delta_1 = \delta_2$), середні радіуси повороту при жорстких колесах з урахуванням відведення однакові

$$R_{cp} = R_\delta. \quad (8)$$

У цьому випадку бічне відведення коліс не впливає на кривину траєкторії повороту і лише миттєвий центр повороту зміщується вперед відносно осі задніх коліс трактора. Такі трактори визначаються як ті, що мають нейтральну поворотність. Для проходження кругової траєкторії певного радіуса R_{cp} потрібен однаковий кут повороту керованих коліс θ як при жорстких, так і з урахуванням впливу бічного відведення.

Якщо кут відведення передніх коліс δ_1 більший, ніж у задніх коліс δ_2 , знаменник у формулі (7) зменшується і середній радіус повороту за рахунок впливу відведення збільшується.

$$\delta_1 > \delta_2 \rightarrow R_\delta > R_{cp} \quad (9)$$

Такі трактори визначають як трактори що мають недостатню поворотність. Зрозуміло, що для проходження, повороту із заданим радіусом R_{cp} , при недостатній поворотності водій повинний компенсувати вплив бічного відведення великим кутом повороту керованих коліс θ_δ , у порівнянні з кутом при жорстких колесах

$$\theta_\delta > \theta \quad (10)$$

Якщо ж кут бічного відведення передніх коліс δ_1 менший, ніж у задніх коліс δ_2 , знаменник у формулі (7) збільшується і середній радіус повороту за рахунок впливу відведення зменшується.

$$\delta_1 < \delta_2 \rightarrow R_\delta < R_{cp} \quad (11)$$

Трактор, при заданому куті повороту керованих коліс θ , що відповідає при жорстких колесах повороту по колу з радіусом R_{cp} , у цьому випадку за рахунок відведення буде втягуватися в більш крутий поворот з меншим радіусом R_δ . Тому такі трактори визначають як ті, що мають надлишкову поворотність і для повороту з заданою кривизною (заданим радіусом R_{cp}) водій повинен повертати керовані колеса на кут θ_δ , менший, ніж було б потрібно у випадку жорстких коліс.

$$\theta_\delta < \theta \quad (12)$$

З вищевикладеного випливає, що водій трактора має можливість компенсувати вплив бічного відведення на кривизну траєкторії повороту як при недостатній, так і при надлишковій поворотності. Проте в останньому випадку теоретично можливо хитливий рух з повною втратою керованості. Дійсно, зменшення радіуса повороту R_δ при $\delta_2 > \delta_1$ викликає відповідне збільшення відцентрової сили, яка обернено пропорційна радіусу повороту. Внаслідок збільшеної бічної сили зростають кути бічного відведення, що додатково зменшує радіус повороту з відповідними наслідками.

Висновки. Встановлено, що втрата стійкості і керованості трактора, або обмеження його швидкості руху на повороті відбувається при досягненні сумарними реакціями на колесах в площині дороги граничних значень за умовами проковзування та уводу шин. Традиційне рульове керування, що реалізовує кінематичний спосіб керування поворотом, не забезпечує необхідних показників маневреності колісних тракторів класичної компоновки. Тим самим виникає необхідність використання комбінованого способу повороту, при якому керовану колісну машину і водія слід розглядати як замкнуту систему автоматичного керування з внутрішніми функціональними зв'язками. Застосування системи адаптивного керування поворотом є одним із засобів поліпшення властивостей маневреності колісних тракторів, що мають зміщений до задньої осі центр мас (мале навантаження на керовані колеса). Для його ефективного застосування необхідно автоматично узгодити кут повороту керованих коліс і різницю дотичних реакцій на ведучих колесах, а також забезпечити раціональні конструктивні параметри рульового керування.

При оцінці властивостей маневреності колісних машин критерієм динамічної повороткості може бути кутова швидкість повороту, критерієм керованості - кутове прискорення машини в площині дороги, а показником легкості керування (поряд з опором повороту керованих коліс) - сумарна

дотична реакція на ведучих колесах, що визначається опором коченню коліс, необхідними значеннями показників маневреності, характеристиками підвіски і кінематичною похибкою положення керованих коліс.

Також важливим є визначення граничних можливостей кінематичного способу керування поворотом колісних тракторів по критеріях стійкості, керованості, повороткості і оцінка можливості їх забезпечення конструктивними заходами; обґрунтовані і проведені синтез раціональних законів керування поворотом направляючих коліс для забезпечення необхідних показників маневреності.

Застосування системи адаптивного керування є одним із засобів поліпшення властивостей маневреності колісних тракторів, що мають зміщений до задньої осі центр мас (мале навантаження на керовані колеса). Для його ефективного застосування необхідно автоматично узгодити кут повороту керованих коліс і різницю дотичних реакцій на ведучих колесах, а також забезпечити раціональні конструктивні параметри рульового керування.

Список використаних джерел

1. Литвинов А.С., Немцов Ю.М., Волков В.С. Некоторые вопросы динамики неустановившегося поворота автомобиля // Автомобильная промышленность. 1978.- № 3.- с. 20-22.
2. Фаробин Я.Е. Теория поворота транспортных машин.-М.: Машиностроение, 1970.- 176 с.
3. Подригало М.А., Бобошко А.А. Синтез законов рационального управления поворотом колесной машины // Вестник Харьковского государственного автомобильно-дорожного технического университета. Вып. 15 - 16. -Харьков: Изд-во ХНАДУ. - 2001. - с. 143 - 145.
4. Подригало М., Гречко Л., Бобошко О. Підвищення маневреності колісних тракторів // Машинознавство. - 1999. - № 10. - с. 55 - 58.

Аннотация

ИССЛЕДОВАНИЕ МАНЕВРЕННОСТИ КОМБИНИРОВАННЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ АГРЕГАТОВ

Макаренко Н.Г., Кулаков Ю.Н., Макаренко А.Н.

Приводятся результаты исследований факторов, влияющих на маневренные качества комбинированных сельскохозяйственных агрегатов на базе тракторов.

Abstract

RISE OF MANEVRENNOSTI KOMBINIROVANIH AGRICULTURAL AGGREGATES AT VARIABLE POSITION OF CENTER OF THE MASSES

N. Makarenko, Y. Kulakov, A. Makarenko

The results of studies of factors affecting the maneuvering qualities of combined agricultural units based on tractors are presented.