

УДК 629.017

М.П.Артёмов, доц., канд.техн. наук*Харківський національний технічний університет сільського господарства
ім. Петра Василенка*

Дослідження критеріїв керованості мобільних сільськогосподарських машин

В статті розглянуто особливості дослідження керованості мобільних сільськогосподарських машин в процесі виконання агротехнічних операцій та її вплив на функціональну стабільність роботи агрегатів.

керованість, мобільні машини, функціональна стабільність

Вступ. Завдання з підвищення ефективності використання та функціональної стабільності мобільних сільськогосподарських агрегатів є однією з основних задач, що стоять перед наукою і виробництвом з початку використання механізації у сільському господарстві. Особливу гостроту це завдання набуло в умовах сучасного виробництва сільськогосподарської продукції, де важливими моментами стали вартість енергоносіїв, дотримання агротехнічних вимог, забезпеченість сучасними мобільними енергонасиченими тракторами та продуктивними сільськогосподарськими машинами. Із збільшенням енергонасиченості і функціональних можливостей тракторів змінюється їх динаміка під час роботи у складі сільськогосподарського машинно-тракторного агрегата(МТА), що на сучасному етапі потребує додаткових досліджень.

Проблема. Різноманітність природних і виробничих умов, велика кількість сільськогосподарських культур вимагають створення різних систем машин: одні задовольняють певні вимоги галузі сільськогосподарського виробництва(машини для комплексної механізації рослинництва, овочівництва, садівництва, для механізації тваринництва); другі прилаштовані для обробітку окремих культур(машини для вирощування зернових, картоплі, кукурудзи, цукрового буряка та ін.). Такі системи машин необхідно агрегатувати з сучасними енергонасиченими тракторами. Прикладом можуть бути, так звані, інтегральні, або системні трактори: вітчизняні ХТЗ-121, ХТЗ-161, російського виробництва – ЛТЗ-155, Deutz і високоенергонасичені засоби багатопільового призначення Steyr-8300, Djon Deer.

Згідно з вимогами в процесі створення системи машин виходять, перш за все, з економічних умов та принципів комплектування типових машинно-тракторних агрегатів. Умови та принципи комплектування МТА, що входять до цієї чи іншої системи машин, залежать від конструктивних параметрів і динамічних властивостей машин, які входять до агрегату. Скомплектовані сільськогосподарські агрегати в роботі повинні забезпечувати функціональну стабільність і керованість під час виконання агротехнічних операцій та відповідати класифікації оцінюючих показників: агротехнічним, експлуатаційним, промисловим, економічним, загальнотехнічним і естетико-ергономічним [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Збільшення вимог до екологічної безпеки, якості виконання робіт, підвищення врожайності, вимагає створення нових технологічних процесів, розробки прогресивних форм організації праці, вдосконалення трактора, як основного енергетичного засобу та технологічної частини МТА. Вирішенню задач динаміки сільськогосподарських агрегатів приділили багато

уваги Василенко П.М., Погорілий Л.В., Кутьков Г.М., Рославцев А.В., Надикто В.Т.[2] та ін. Кожен з них вирішував окрему задачу динаміки, а в цілому було зроблено великий вклад в теоретичне обґрунтування комплектації та ефективної роботи агрегатів. Було розроблено і запропоновано для розгляду динамічні моделі МТА, що забезпечили вирішення багатьох задач, пов'язаних з впливом окремих елементів агрегату на показники його руху. На необхідність встановлення правильних співвідношень між діючими на машини силами, з одного боку, і їх масою, швидкостями і режимами роботи – з іншого, вказав засновник землеробської механіки В.П.Горячкін[3].

Норберт Вінер, засновник кібернетики, звертав увагу на необхідність керування динамічною системою з метою її збереження від саморуйнування. Під терміном керованість маються на увазі багато різних властивостей агрегата. Їх велика кількість пов'язана з широким розумінням терміну керування, яке охоплює усі можливі випадки взаємодії механізатора і агрегату в умовах, що постійно змінюються. До цього входять реакції як механізатора, так і мобільної машини на зовнішні збурення, а також реакції агрегату на дії механізатора. У загальному випадку рівняння руху мобільних агрегатів будуть нелінійними і це значно ускладнює задачу контролю за впливом керуючих дій для забезпечення якості виконання агротехнічних операцій. Реакція на керуючі дії(впливи) може характеризувати не тільки ступінь досконалості, а також і технічний стан машини, її функціональну стабільність,

Передатна функція дозволяє оцінити реакцію мобільних машин на керуючі дії. В роботі[4] запропонована передатна функція у вигляді чутливості машини до виконання маневру

$$\mu = \frac{dK}{d\alpha_{PK}}, \quad (1)$$

де K - кривизна траєкторії (dK - її зміни);

$d\alpha_{PK}$ - безкінцево мала зміна кута повороту керованих коліс.

В різних представленнях передатних функцій залежності включають параметри конструкцій передатних механізмів, що здійснюють обробку керуючих сигналів. У роботі [5], на прикладі керування розгоном мобільних машин з використанням метода парціальних прискорень запропоновано передатну функцію керування розгоном, значення якої близькі до одиниці

$$W = \frac{dV/dt}{\dot{V}_{кер}^{парц}}, \quad (2)$$

де dV/dt - прискорення мобільної машини під час розгону;

$\dot{V}_{кер}^{парц}$ - парціальне прискорення мобільної машини, що виникло під дією керуючої(тягової) сили.

Мета досліджень. Метою дослідження є визначення критеріїв керованості необхідної для забезпечення функціональної стабільності роботи мобільного сільськогосподарського агрегату в процесі виконання технологічних операцій з вирощування різноманітних культур. Для її досягнення необхідно вирішити наступні задачі:

- зробити аналіз показників та критеріїв керованості мобільних машин;
- обрати критерій контролю керованості мобільних машин.

Результати досліджень. Керування пов'язано з діями механізатора, необхідними для отримання бажаного результату: наприклад, необхідних траєкторій руху, швидкості і прискорення агрегату при відповідній якості і продуктивності виконуваної агротехнічної операції. Окрім копіювання заданої траєкторії мають значення вид, складність і тривалість маневру, необхідного для повернення на необхідну траєкторію після тимчасового відхилення, а також здатність агрегату утримувати заданий напрямок при випадкових збуреннях.

Суттєвою особливістю функціонування мобільних сільськогосподарських агрегатів, як динамічних систем, є їх багатомірність, тобто наявність багатьох вхідних і вихідних змінних. Кількість вхідних і вихідних компонентів у процесі функціонування залежить від типу агрегата, обраної розрахункової схеми, ступеню врахування умов роботи та інших відомих і невідомих факторів.

З керуванням у широкому розумінні пов'язано поняття маневреності. До нього входять наступні якості агрегату: динамічність – здатність хутко розвивати необхідну швидкість; ефективність гальмування – здатність хутко зупинятись; реверсивність – здатність змінювати напрямок на зворотній; пристосовуваність до умов руху і тяги, тобто до коливань навантаження, за рахунок запасу крутного моменту двигуна або зміни передатного числа трансмісії; керованість – здатність зберігати або змінювати напрямок руху при відповідному впливі на органи керування.

В роботі [6] для колісних машин розроблено структурну схему маневреності і керованості та запропоновано критерії оцінки вказаних властивостей. Запропоновану структурну схему перероблено для мобільних сільськогосподарських агрегатів(рис.1) і виникла необхідність уточнення критеріїв оцінки.

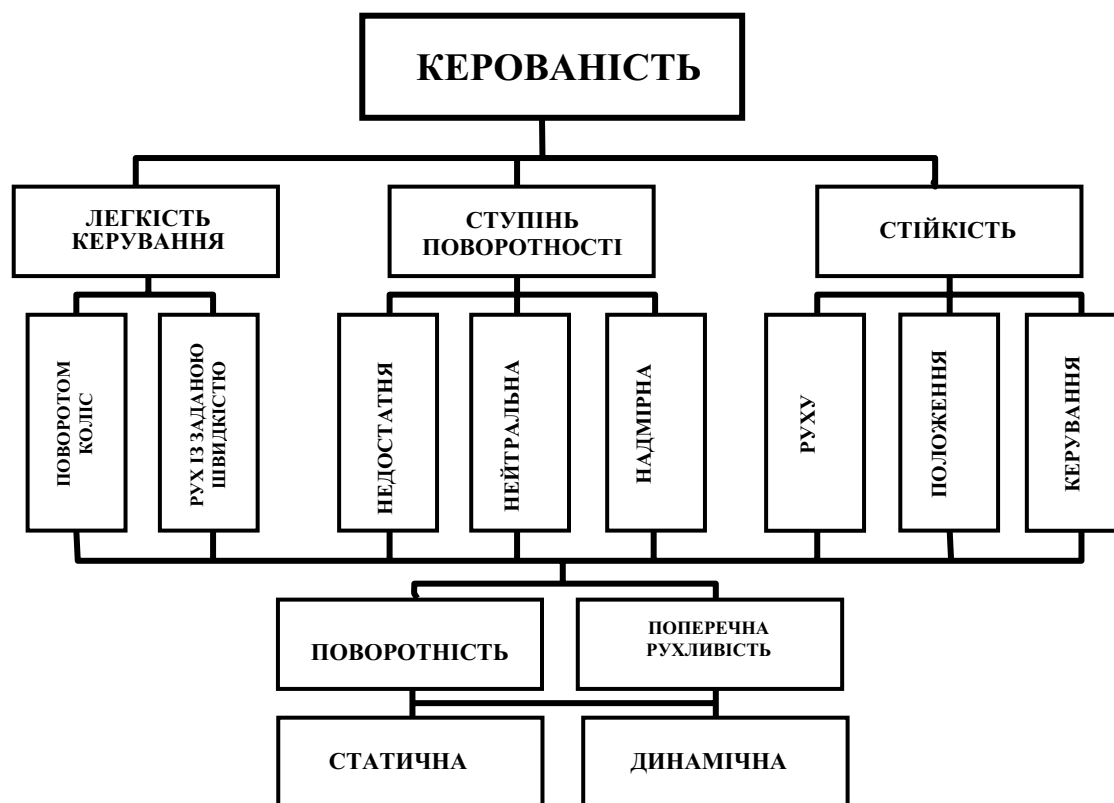


Рисунок 1 - Структура властивостей керованості мобільних колісних машин

Легкість керування, як самостійна властивість, оцінюється зусиллями або енергією необхідними для впливу на органи керування. Від легкості керування залежить точність керування(точність водіння). Легкість керування характеризується частотою впливів, необхідних для підтримки заданої траєкторії; частота цих впливів залежить від стійкості руху агрегату.

Стійкість керування – більш вузький термін, що характеризує відхилення агрегату у відповідності із ступенями свободи, якими він має як динамічна система. Стійкість керування залежить як від швидкості і правильності реагування механізатора, так і від стійкості руху агрегату, як динамічної системи. Стійкість керування –

властивість, якою агрегат як динамічна система, взаємодіє із середовищем, може мати або не мати незалежно від керованості.

Точність обробітку на відзнаку від точності керування залежить не тільки від властивостей механізатора і трактора, а і від встановлення і налагодження, конструкції і стану сільськогосподарського знаряддя. Від точності обробітку залежать показники її якості, за якими оцінюють тільки кінцевий результат.

Агротехнічні показники якості обробітку відображають сукупний вплив точності водіння, точності обробітку, керованості і стійкості напрямку руху в певних умовах.

Дослідниками запропоновано багато визначень керованості, але мало хто розглядав методики оцінки цієї властивості і тому необхідно розробити модель керування із схематизацією самого явища. І.І. Трепененков під керованістю пропонував мати на увазі здатність трактора, який працює під навантаженням, точно рухатись за заданою траєкторією.

В процесі виконання агротехнічних вимог сільськогосподарських операцій МТА повинен рухатись за певною прямолінійною траєкторією. Під впливом зовнішніх збурюючих сил та зношення деталей які впливають на керованість, агрегат рухається по криволінійній траєкторії постійно виконуючи невеличкі повороти.

Вивчення показників агротехнічної якості не дозволяє з'ясувати, яка з властивостей агрегату чи механізатора здійснили вирішальний вплив на якість обробітку.

Характеристикою керованості колісної мобільної машини, як об'єкту керування при повороті, може бути відношення приросту курсового кута $\Delta\varphi$ до зміни кута повороту рульового колеса $\Delta\alpha_{PK}$, тобто величина передатної функції системи

$$W(p) = \frac{\Delta\varphi}{\Delta\alpha_{PK}} \quad (3)$$

Якщо процес керування відбувається безперервно

$$W(p) = \frac{d\varphi}{d\alpha_{PK}} \quad (4)$$

У випадку коли виділяється передатна функція рульового керування, тоді співвідношення (3) і (4) приймуть вигляд

$$W(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) = \frac{\Delta\varphi}{\Delta\bar{\alpha}} \cdot \frac{\Delta\bar{\alpha}}{\Delta\alpha_{PK}}; \quad (5)$$

$$W(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) = \frac{d\varphi}{d\bar{\alpha}} \cdot \frac{d\bar{\alpha}}{d\alpha_{PK}}, \quad (6)$$

де $\Delta\bar{\alpha}$ - зміна кута повороту напрямних коліс.

У зв'язку з тим, що

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = V_{x1} \cdot \frac{tg\bar{\alpha}}{L}, \quad (7)$$

тоді додамо і поділимо праву частину рівняння(7) на $d\bar{\alpha}$, отримаємо після перетворень

$$\frac{d\varphi}{d\bar{\alpha}} = V_{x1} \cdot \frac{tg\bar{\alpha}}{L \cdot \frac{d\bar{\alpha}}{dt}} \quad (8)$$

Із збільшенням лінійної швидкості руху, кута повороту напрямних коліс і зменшення колісної бази керованість мобільної машини збільшується (рис.2.). У випадку коли збільшується кутова швидкість $\frac{d\bar{\alpha}}{d\tau}$ повороту напрямних коліс керованість мобільної машини зменшується.

Потужність двигуна, що реалізується в процесі повороту, залишається постійною, то з урахуванням зменшення лінійної швидкості при зміні напрямку руху вираз(8) необхідно записати у вигляді:

$$\frac{d\varphi}{d\bar{\alpha}} = V_0 \cdot \frac{tg\bar{\alpha}}{\sqrt{\left(1 + \frac{b^2 + i_z^2}{L^2} \cdot tg^2\bar{\alpha}\right)}} \cdot \frac{1}{L \cdot \frac{d\bar{\alpha}}{dt}} \quad (9)$$

де i_z - радіус інерції мобільної машини відносно вертикальної осі:

V - лінійна швидкість;

L - колісна база;

t - час здійснення маневру;

b - відстань від центру мас до задньої осі.

Для окремого випадку вираз(7) можна представити

$$V_{x1} = \frac{dS_{x1}}{dt} \quad (10)$$

після проведених перетворень воно прийме вигляд:

$$\frac{d\varphi}{dS_{x1}} = \frac{1}{L} tg\bar{\alpha} = \frac{1}{R_\alpha} = K \quad (11)$$

де S_{x1} - шлях, який проходить мобільний сільськогосподарський агрегат;

K - кривизна траєкторії руху точки яка лежить на середині задньої осі;

R_α - радіус кривизни траєкторії із заданим кутом повороту направляючих коліс.

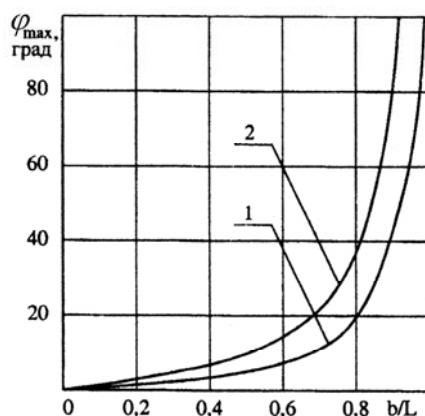
У цьому випадку величина кривизни траєкторії K , що визначається з співвідношення(11), є критерієм поворотності, однієї із складових керованості мобільних машин.

Рівняння(8) з урахуванням(10) перетвориться до вигляду

$$\frac{d\varphi}{d\bar{\alpha}} = \frac{tg\bar{\alpha}}{L \cdot \frac{d\bar{\alpha}}{dS_{x1}}} \quad (12)$$

де $\frac{d\bar{\alpha}}{dS_{x1}}$ - характеристика керуючого впливу(зміна кута повороту направляючих

колів на одиницю пройденого шляху).



1 – 1,1(b/L); 2 – 1,2(b/L).

Рисунок 2 - Залежність φ_{max} від положення центру мас мобільної машини[7]

Під час здійснення повороту відбувається збільшення опору руху сільськогосподарського агрегату. Це супроводжується зменшенням лінійної швидкості руху агрегату, або збільшенням потужності, яка реалізується двигуном. Для

забезпечення високої продуктивності необхідно забезпечити однокову швидкість руху на прямій ділянці та в процесі маневрування. При цьому робота, яку здійснює двигун, повинна збільшуватись пропорційно відносному збільшенню кінетичної енергії агрегату:

$$\delta W \approx \left(\frac{1}{2} \frac{b^2}{L^2} + \frac{i_z^2}{L^2} \right) \cdot \text{tg}^2 \alpha \cdot \quad (13)$$

При маневруванні сільськогосподарського агрегату відносно збільшення потужності, що реалізується двигуном, буде мати вигляд:

$$\delta N_{\text{де}} = \frac{d\delta W}{dt} = \frac{b^2 + 2 i_z^2}{L^2} \cdot \frac{\text{tg} \bar{\alpha}}{\cos^2 \bar{\alpha}} \cdot \frac{d\bar{\alpha}}{dt} \quad (14)$$

Коли відбувається збільшення середнього кута повороту направляючих коліс $\bar{\alpha}$, а також темпу його збільшення відбувається збільшення необхідної потужності двигуна для збереження постійної лінійної швидкості. Аналізуючи рівняння(14) робимо висновок – у випадку зменшення співвідношень b/L та i_z/L відбувається зменшення необхідної потужності. На основі проведеного аналізу робимо висновок, що рівняння(14) може бути енергетичним критерієм керованості мобільної машини в процесі виконання повороту.

Сучасні мобільні машини обладнані еластичними шинами, тому з урахуванням їх властивостей кутова швидкість руху буде мати вигляд

$$\omega = \frac{V_{x1}}{b} \cdot \text{tg}(\gamma - \delta) = \frac{V_{x1}}{b} \cdot \frac{\text{tg}\gamma - \text{tg}\delta}{1 + \text{tg}\gamma \cdot \text{tg}\delta} \quad (15)$$

де δ - кут уводу мобільної машини;

γ - кут між радіусами кривизни траєкторій центру мас і середини задньої осі машини без урахування уводу

$$\gamma = \text{arctg} \frac{b}{R_2} \quad (16)$$

У випадку, якщо припустити, коли $\text{tg}\delta = \delta$ маємо записати рівняння(15) з урахуванням $\text{tg}\gamma = \frac{b}{R_2} = \frac{b}{L} \cdot \text{tg}\alpha$,

$$\omega = \frac{V_{x1}}{L} \cdot \text{tg}\bar{\alpha} \frac{1 - \delta \frac{L}{b} \text{ctg}\bar{\alpha}}{1 + \delta \frac{b}{L} \text{tg}\bar{\alpha}} = \frac{d\varphi}{dt} \quad (17)$$

При дотриманні певних умов вираз(17) для визначення кутової швидкості можна записати у вигляді

$$\omega = \frac{V_{x1}}{L} (\bar{\alpha} + \delta_2 - \delta_1) = \frac{d\varphi}{dt} \quad (18)$$

Кутова швидкість повороту буде залишатись без змін, тобто дорівнювати нулю якщо $\delta_1 - \delta_2 = \text{tg}\bar{\alpha}$. Використовуючи рівняння(10) визначення кутової швидкості(18) запишеться як

$$\frac{d\varphi}{dS_{x1}} = \frac{1}{L} (\bar{\alpha} + \delta_2 - \delta_1) = \frac{1}{R_D} = K \quad (19)$$

Рівняння(8) з урахуванням уводу шин запишеться у вигляді

$$\frac{d\varphi}{d\bar{\alpha}} = V_{x1} \frac{\bar{\alpha} + \delta_2 - \delta_1}{L \cdot \frac{d\bar{\alpha}}{dt}} = \frac{\omega}{\frac{d\bar{\alpha}}{dt}} \quad (20)$$

Висновок Проведені дослідження і отримані вирази дозволяють визначити:

- критерій поворотності, одного із складових керованості мобільних машин;

- залежність керованості мобільної машини від збільшення лінійної швидкості руху, кута повороту напрямних коліс і зменшення колісної бази – вона збільшується;

- знайти енергетичний критерій керованості мобільної машини.

Тобто з'явилась можливість проводити критеріальну оцінку показників керованості мобільних колісних машин, а також різних способів керування поворотом.

Список літератури

1. Василенко П.М. Элементы теории устойчивости движения прицепных сельскохозяйственных машин и оборудования. Сборник трудов по земледельческой механике, т.2 / П.М.Василенко – М.: Сельхозгиз,1954. – 64 с.
2. Кутьков Г.М., Габай Е.В., Калиновский В.И., Кандрусев И.И., Надыкто В.Т. Выбор рациональной схемы агрегатирования мобильного энергетического средства с плугом / [Г.М. Кутьков, Е.В. Габай, В.И.Калиновский, И.И. Кандрусев, В.Т. Надыкто] // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1990, № 3, С. 21 – 23.
3. Горячкин В.П. Теория массы и скоростей сельскохозяйственных прицепов / В.П. Горячкин. – М.: Энергия, 1974. – 240 с.
4. Чайковский И.П. Рулевое управление автомобилей / Чайковский И.П., Саломатин П.А. – М.: Машиностроение, 1987. – 176с.
5. Лебедев А.Т. Оценка управляемости мобильных машин методом парциальных ускорений / [Лебедев А.Т., Артемов Н.П., Кот А.В., Подригало М.А.] - Праці Таврійського державного агротехнологічного університету Випуск 10 Том 7, Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Моделювання технологічних процесів в АПК" Мелітополь. 2010. - С. 65-72.
6. Стабильность эксплуатационных свойств колесных машин / [Подригало М.А., Волков В.П., Карпенко В.А., Гецович Е.М., Бобошко А.А., Ефимчук В.М., Матырин А.Н.,] / Под ред. М.А. Подригало. – Харьков: Изд-во ХНАДУ,2003. – 614с.
7. Маневренность и тормозные свойства колесных машин / [Подригало М.А., Волков В.П., Кирчатый В.И., Бобошко А.А.,] / Под ред. М.А. Подригало. – Харьков: Изд-во ХНАДУ,2003. – 403с.
8. Kylong Uk Kim, Gerald E. Rehrugler. Review of Tractor Dynamics and Stability. American Society of agricultural Engineers, 1987. Vol.30(3): May-June, 1987, p.615-622.

Н. Артёмов

Исследование критериев управляемости мобильных сельскохозяйственных машин

В статье рассмотрены особенности исследования управляемости мобильных сельскохозяйственных машин в процессе выполнения агротехнических операций ее влияние на функциональную стабильность работы агрегатов.

N. Artiomov

Investigation into the controllability criteria of mobile agricultural machines

The article focuses on the aspects of investigation into controllability of mobile agricultural machines in the process of performing agrotechnical operations and its effect on functional stability of unit operations.

Одержано 14.09.11