

3. Зенин Л.С. Исследование пневматического аппарата точного высева: Автореф. дис... канд. техн. наук. – Алма-Ата, 1962. – 26с.

4. Журавлев Б.И. Исследование пневматических высевающих аппаратов для точного высева семян // Тракторы и сельхозмашины. – 1961. – №9. – С. 21–24.

5. Чичкин В.П. Овощные сеялки и комбинированные агрегаты: Теория, конструкция, расчет. – Кишинев: Штиинца, 1984. – 392 с.

6. Патент № 63895, Україна, МПК А₀₁С7/04 Пневматичний висівний апарат /Шмат С.І., Свірень М.О., Абрамова В.В., Лушніков В.М. Опубл. 25.10.2011 р. – 2 с.

Рецензент д.т.н., проф. Свірень М.О.

УДК 629.017

© М.П. Артёмов к.т.н.

Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка

ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ СТУПЕНІВ РУХЛИВОСТІ МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ ТА ЇХ ВПЛИВ НА КЕРОВАНІСТЬ

Проведено аналіз кількості ступенів рухливості машинно-тракторних агрегатів в залежності від схеми приводу ведучих і кількості напрямних коліс. Визначено вплив кількості ступенів рухливості на керованість мобільних агрегатів.

МАШИННО-ТРАКТОРНИЙ АГРЕГАТ, КЕРОВАНІСТЬ, СТУПЕНІ РУХОМОСТІ, КЕРУЮЧІ ДІЇ.

Постановка проблеми. Для забезпечення необхідної якості виконання агротехнологічних операцій і точності експериментальних випробувань, необхідні досконалі методи контролю кінематичних і динамічних параметрів сільськогосподарських агрегатів у процесі сертифікаційних випробувань і подальшої експлуатації.

При проведенні динамічних випробувань мобільних агрегатів фахівці стикаються з низкою труднощів, зумовлених недосконалістю існуючих методів проведення вимірювань. Зокрема, при проведенні

випробувань сільськогосподарської техніки викликає труднощі вимірювання і реєстрація змін в часі таких параметрів, як тягове зусилля, швидкість руху, зусилля на гаку, потужність на гаку, потужність двигуна і тяговий ККД. В даний час отримали розвиток методи оцінки динаміки мобільних машин на основі використання датчиків інерції або акселерометрів. Однак для отримання повної і достовірної інформації необхідно обґрунтування мінімально необхідного числа вимірювальних осей акселерометрів і раціональних точок їх установки [1]. У цій статті визначено взаємозв'язок між числом ступенів рухливості машинно-тракторних агрегатів (МТА) та їх керованістю.

Число незалежних вхідних (провідних) ланок, впливають на реакцію вихідної ланки і визначають число ступенів рухливості мобільної машини або механізму.

Мобільні машини, до яких відносяться машинно-тракторні агрегати (МТА), рухаючись по полю виконують плоскопаралельний рух з необхідною траєкторією і необхідними кінематичними характеристиками за рахунок управління кінематичними і динамічними параметрами коліс.

Кути повороту коліс в площині обертання, кути повороту коліс відносно вертикальної площини (зміна положення площини обертання коліс відносно поздовжньої осі), зміна швидкості і прискорення, зазначених рухів, тягові, гальмівні сили і моменти, все це відноситься до кінематичними та динамічним параметрам колеса. Якщо врахувати все перераховане, то колеса трактора в МТА можна вважати керованими, а ті колеса, які змінюють площину свого обертання щодо вертикальної осі – напрямні.

Аналіз останніх досягнень і публікацій У кінці XIX століття Х. Гохман [2] запропонував визначати число ступенів рухливості – вільних параметрів руху механізму, за формулою

$$H = 6(n-1) - S, \quad (1)$$

де n – кількість ланок механізму; S – загальна кількість незалежних в'язей, накладених при створенні кінематичних пар.

При визначенні числа ступенів рухливості плоского механізму в механіці використовують структурну формулу П.Л. Чебишева [3]

$$H = 3(n-1) - 2P_1 - P_2 \quad (2)$$

де n – число рухомих ланок механізму; P_1 – кількість кінематичних пар 1-го класу (для плоских механізмів – нижчих пар); P_2 – кількість кінематичних пар 2-го класу (для плоских механізмів – вищих пар).

У тому випадку, коли необхідно визначити число ступенів рухливості просторового механізму зазвичай використовують формулу Сомова-Малишева [3].

$$H = 6(n - 1) - (5P_1 + 4P_2 + 3P_3 + 2P_2 + P_1) + q + p \quad (3)$$

де P_3, P_2, P_1 – кількість кінематичних пар, відповідно 3, 2 і 1 класу; q – кількість повторних зв'язків, що відображаються тотожними рівностями; p – кількість зникаючих умов зв'язку.

У механіці прийнято, що для визначення класу кінематичної пари встановлюється число обмежень, які накладаються на відносний рух ланок складових пари [3].

Число ступенів рухливості визначає кількість незалежних рухів (кількість незалежних координат), що надаються вхідним (ведучим) ланкам механізму і визначають рух вихідної ланки.

Визначення числа ступенів рухливості за допомогою формул (2) та (3) пов'язане з певними складнощами і може привести до помилки у визначенні числа пасивних зв'язків. Виходячи з цього зручніше визначити число ступенів рухливості МТА за числом незалежних керуючих впливів (рухів), що визначають його рух як вихідної (веденої) ланки.

Для визначення числа обмежень на відносний рух ланок мобільної машини скористаємося такою формулою [3]:

$$K = 6n - H. \quad (4)$$

Мета і постановка задачі досліджень. Метою досліджень є визначення ступенів рухливості мобільного агрегату при різних схемах управління рухом за допомогою коліс і оцінка їх впливу на його керованість. У процесі досліджень необхідно вирішити наступні задачі:

- провести визначення числа ступенів рухливості мобільного сільськогосподарського агрегату при різних схемах керування колесами;

- провести дослідження впливу числа ступенів рухливості на керованість агрегату.

Вирішення задачі. Кількість незалежних керуючих впливів, необхідних для зміни траєкторії і параметрів руху агрегату визначає його число ступенів рухливості.

Щоб змінити параметри поступального руху МТА використовується не тільки двигун і трансмісія, але і гальмівна система.

О.Г. Озол у своїй роботі [4] представив формулу, яка побудована на розрахунку кількості ступенів свободи, що залишилися після послідовного замикання гілки відкритого кінематичного

ланцюга, в результаті чого можливе введення декількох пасивних в'язей q .

У тому випадку, якщо в простій відкритій ланцюга загальна кількість ступенів рухливості в кінематичних парах становить:

$$f_1 = fa_1 + fb_1 + fc_1 + \dots + fg_1, \quad (5)$$

і за умови замикання на стійку додається $6 - fh_1 - q_1$ обмежень, то ступінь свободи після замикання ланцюга буде:

$$H = f_1 - 6 + q_1. \quad (6)$$

Якщо механізм складається з k контурів, ступінь рухливості, після замикання всіх гілок буде визначатися як:

$$H = f - 6k + \sum_{i=1}^k q_i = f - 6k + q. \quad (7)$$

Новизна формули О. Озола в порівнянні з формулою Х. Гохмана полягає в появі $\sum_{i=1}^k q_i$.

Наявність в механізмі дійсно або умовно нерухомої стійки, за твердженням О. Озола, підкреслює збереження відносних переміщень його ведених ланок при заданому русі ведучих.

Для сільськогосподарських і транспортних машин (машин з рухомою станиною), О. Озол вводить поняття – баланс рухливості, представляючи його у вигляді:

$$\mathfrak{C}(n - \xi) = c + b + d + S_k - q - H_a, \quad (8)$$

де ξ – показник рухливості підстави; якщо $\xi = 1$ – станина нерухома; якщо $\xi = 0$ – станина рухлива; c – кількість основних ступенів рухливості, дорівнює кількості незалежних узагальнених координат; b – кількість додаткових ступенів рухливості, включаючи рухливість плаваючих ланок; d – кількість динамічних зв'язків; S_k – сума кількості внутрішніх і зовнішніх кінематичних зв'язків; q – зменшення ступеня рухливості зовнішніх тіл, зумовлених дією зовнішніх і внутрішніх повітряних зв'язків; H_a – зменшення ступенів рухливості зовнішніх тіл, зумовлених дією зовнішніх зв'язків.

Називаючи суму $c + b + d$ за робочу рухливість, О. Озол визначає через параметри системи:

$$q = H_{paб} + S_k - \mathfrak{C}(n - \xi) - H_a. \quad (9)$$

У сільськогосподарських машинно-тракторних агрегатів зовнішні зв'язки найчастіше неголономні. Тому, якщо n_q – кількість

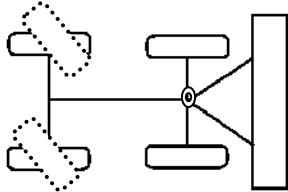
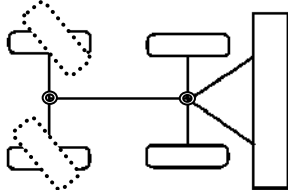
незалежних узагальнених координат, то ступінь свободи системи, на яку діють зовнішні неголономні зв'язки – $S_{H\text{ внєшн}}$ можливо, записати у вигляді рівняння

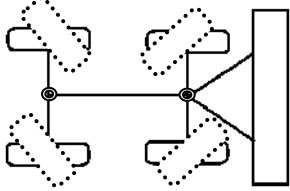
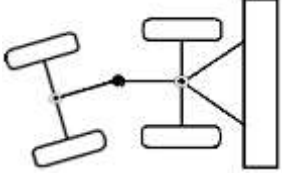
$$H = n_q - S_{H\text{ внєшн}} + q_{H\text{ внєшн}} \cdot \quad (10)$$

При русі МТА рульове керування, гальмівна система і двигун з трансмісією забезпечують зміну параметрів обертального руху, крім того, моторно-трансмісійна установка може використовуватися для створення різних тягових сил (різних кутових швидкостей обертання коліс різних бортів) [5]. Так само для отримання аналогічного ефекту на деяких мобільних машинах використовують роздільне гальмування коліс різних бортів.

У таблиці 1 наведено аналіз ступенів рухливості машинно-тракторних агрегатів в залежності від кінематичної схеми управління рухом.

Таблиця 1 – Визначення числа ступенів рухливості мобільних агрегатів з різними схемами ведучих і напрямних коліс

№ п/п	Схеми МТА	Кількість ступенів рухливості
1.1	<p>Напрямні колеса на одному мосту мобільної машини та один ведучий міст</p>  <p>Напрямні колеса на одному мосту мобільної машини и два ведучих моста</p> 	<p>3</p> <p>4</p>

2.1	<p>Напрявні колеса на двох мостах мобільної машини:</p> <ul style="list-style-type: none"> - один ведучий міст; - два ведучих моста 	4 5
3.1	<p>Жорстке кріплення коліс до мосту, керування складанням полурам:</p> <ul style="list-style-type: none"> - один ведучий міст; - два ведучих моста 	3 4

Рушії (колеса) забезпечують контакт МТА з опорною поверхнею, завдяки такому зв'язку забезпечується зміна параметрів і траєкторії руху. При виконанні технологічних операцій всі колеса машинно-тракторного агрегату є керованими, так як механізатор керує їх кінематичними і динамічними параметрами. Напрявні колеса є керованими, оскільки механізатор змінює їх положення в площині дороги (зміна площини обертання коліс). Ведучі колеса так само є керованими у зв'язку з тим, що механізатор керує ними шляхом зміни кутової швидкості і підведеного крутного моменту. Провівши аналіз кінематичних схем наведених у таблиці, можливо зробити висновок про те, що найбільше число ступенів рухливості має мобільний агрегат з двома ведучими мостами та напрямними колесами на всіх мостах. Разом з тим за наявності коліс у сільськогосподарської машини з'являються зовнішні пасивні ступені рухливості.

Формули (9) і (10) дозволяють визначити наявність повторних зовнішніх зв'язків для сільськогосподарських і транспортних машин.

Розглянемо залежність керованості машинно-тракторних агрегатів від числа ступенів рухливості При виконанні агротехнічних

операцій під дією збурюючих сил, діючих на ґрунтообробне знаряддя, агрегат рухається по деякій синусоїдальній траєкторії з постійними підворіть. Це найбільш загальний випадок реалізації всіх ступенів рухливості мобільної машини [4, 5]. Час простого маневру включає в себе час запізнювання сигналу, що управляє, час наростання керуючого сигналу від нуля до максимального значення і час усталеного руху в процесі виконання маневру [6]. В цілому час виконання цього маневру визначається наступною залежністю:

$$t_{ман} = t_{вх} + t_{уст} + t_{ввых}, \quad (11)$$

де $t_{вх}$ – час входу мобільного агрегату в підворот;

$$t_{вх} = t_3 + t_H, \quad (12)$$

$t_{ввых}$ – час виходу мобільного агрегату із підвороту;

$$t_{ввых} = t_3 + t_{II}, \quad (13)$$

t_{II} – час падіння керуючого сигналу від максимального значення до нуля, в даному випадку, з позицій керованості, будемо вважати, що $t_{II} = t_H$.

Скоротити час здійснення маневру можливо за рахунок збільшення лінійної та кутової швидкостей агрегату. Іншим способом скорочення часу маневру $t_{ман}$ є скорочення часу t_H . Його можливо скоротити при використанні декількох ступенів рухливості, що реалізуються шляхом створення паралельних керуючих впливів [7].

Якщо прийняти за вихідну величину системи управління МТА кутову швидкість повороту в горизонтальній площині – площині поля (дороги), то в разі декількох керуючих впливів можна використовувати рівняння повного диференціалу

$$d\omega_z = \frac{\partial\omega_z}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial\omega_z}{\partial x_2} dx_2 + \dots + \frac{\partial\omega_z}{\partial x_i} dx_i + \dots + \frac{\partial\omega_z}{\partial x_n} dx_n = \sum_{i=1}^n \frac{\partial\omega_z}{\partial x_i} dx_i, \quad (14)$$

де n – число паралельних керуючих впливів.

З формули (14) видно, що регульованою величиною є ω_z і приватними похідними $\frac{\partial\omega_z}{\partial x_i}$ кожного з керуючих впливів є відповідні передавальні функції управління. Якщо провести перетворення, то рівняння (14) можливо записати у вигляді:

$$d\omega_z = \sum_{i=1}^n W_i dx_i. \quad (15)$$

Проаналізувавши, запис рівняння (15) запишемо його у вигляді похідної за часом, це справедливо за умови незалежності передатних функцій W_i від часу:

$$\frac{d\omega_z}{dt} = \sum_{i=1}^n W_i \frac{dx_i}{dt}. \quad (16)$$

У такого запису рівняння величина $\frac{dx_i}{dt}$ характеризує величину зміни керуючого впливу.

Для того, щоб оцінити вплив часу наростання керуючої дії в момент реалізації однієї ступені свободи t_{H1} та аналогічного часу t_{H2} в процесі виконання паралельних керуючих впливів (реалізація декількох ступенів рухливості), проведемо їх порівняння.

При одному керуючому впливі і реалізації одного ступеня рухливості:

$$\frac{d\omega_{z1}}{dt} = W \cdot \frac{dx}{dt}. \quad (17)$$

У випадку використання декількох паралельних керуючих дій

$$\frac{d\omega_{z2}}{dt} = \sum_{i=1}^n W_i \cdot \frac{dx_i}{dt}. \quad (18)$$

Якщо прийняти припущення щодо темпу зростання керуючих сигналів по всіх каналах керування однаковими:

$$\frac{dx_1}{dt} = \frac{dx_2}{dt} = \dots = \frac{dx_i}{dt} = \dots = \frac{dx_n}{dt}, \quad (19)$$

це буде означати $\omega_{z1} = \omega_{z2}$, для цього випадку проведемо інтегрування в межах $(0; \omega_z)$ та зробивши вирішення спільно отримаємо:

$$t_{H2} = t_{H1} \frac{\frac{dx}{dt} W}{\frac{dx_i}{dt} \sum_{i=1}^n W_i}. \quad (20)$$

У випадку коли $\frac{dx}{dt} = \frac{dx_i}{dt}$ вираз (20) можливо записати у вигляді:

$$t_{H2} = t_{H1} \frac{W}{\sum_{i=1}^n W_i}. \quad (21)$$

Зробивши припущення, що співвідношення передатних функцій при одному ступені вільності та при багатьох – дорівнює 1, тобто $\frac{W_i}{W} = 1$, запишемо:

$$t_{H2} = \frac{t_{H1}}{n}. \quad (22)$$

Після проведення аналізу рівняння (22) можливо зробити висновок, що при збільшенні числа ступенів рухливості зменшується час зростання керуючого впливу та часу на проведення маневру.

При здійсненні кінематичного повороту (табл. 1 поз. 1.1) для збереження постійної швидкості руху та збереження часу виконання маневру механізатору необхідно збільшити подачу палива. У цьому випадку відбувається реалізація двох ступенів рухливості та двох керуючих дій.

Висновок Збільшення числа керуючих дій поєднане із збільшенням числа ступенів рухливості дозволяє зменшити час виконання маневру, підвищити стійкість перехідного процесу і покращити керованість сільськогосподарського мобільного агрегату.

Література

1. Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин / [Н.П. Артемов, А.Т. Лебедев, М.А. Подригало, А.С. Полянский, Д.М. Клец, А.И. Коробко, В.В. Задорожня], – Харьков: изд-во «Міськдрук», 2012. – 220 с.
2. Гохман Х. Основы познания и созидания пар и механизмов: Кинематика машин / Х. Гохман – Одесса, 1890. – т. 1. – 298 с.
3. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский – М.: Наука, 1975. – 643 с.
4. Озол О.Г. Новая структурная формула механизмов и ее теоретическое и практическое значение / О.Г. Озол. – Тр. Латв. с.-х. акад. – 1962, Вып. 11. С. 113 – 129.
5. Бабошко А.А. Нетрадиционные способы маневрирования колесных машин / А.А. Бабошко. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2006. – 172 с.
6. Подригало М.А. Маневренность и тормозные свойства колесных машин / Подригало М.А., Волков В.П., Кирчатый В.И., Бобошко А.А. – Харьков.:Изд-во ХНАДУ, 2003. – 403 с.

7. Динамика автомобіля / Подригало М.А., Волков В.П., Бобошко А.А., Павленко В.А., Файст В.Л., Клец Д.М., Редько В.В. Под ред. М. А. Подригало. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2008. – 424 с.

Рецензент д.т.н., проф. В.А. Войтов

УДК 631.361

© В.М. Барановський, к.т.н.
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя

ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ ОЧИСНИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ АДАПТОВАНОЇ КОРЕНЕЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ

Наведено етапи удосконалення, будову та принцип функціонування адаптованих робочих органів очисних транспортно-технологічних систем коренезбиральної машини, яка призначена для одночасного збирання коренеплодів цукрових, кормових, столових буряків і моркви.

КОРЕНІ, БУРЯКИ, ОЧИСНИК, ТРАНСПОРТУВАННЯ, ОРГАН.

Постановка проблеми. Проблема підвищення технічного рівня коренезбиральних машин (КМ), основним критерієм оцінки яких є співвідношення втрат, забрудненості та пошкоджень коренеплодів, залишається особливо актуальною у плані подальшого розвитку вітчизняної коренезбиральної техніки.

Ефективність і якість роботи машин у значній мірі залежить від конструктивно-компонувальної схеми та ефективності процесу роботи очисників вороху, які повинні відокремити із складу викопаного вороху не менше 92 % домішок за вихідними вимогами до КМ, дотримуючись при цьому допустимих значень втрат і пошкодження коренеплодів [1].

Різноманітність конструктивних схем очисних робочих органів КМ в прямій залежності пов'язана як із технологічними процесами відокремлення домішок від коренеплодів, так і з конструктивно-технологічними вимогами до якості їх очищення.

Незважаючи на доволі складні багатовузлові транспортно-технологічні системи (ТТС) робочих органів для очищення вороху