

Визначення структури силових факторів, що діють на жниварний машинно-тракторний агрегат з боковою навіскою

В статті розглянуто фактор стійкості руху машино-тракторних агрегатів, від якого залежить якість та експлуатаційні показники виконання технологічних операцій, у тому числі траєкторія та енергоємність МТА. Встановлені геометричні параметри жниварного МТА з боковою навіскою, зв'язки між елементами системи і силові фактори, що діють на них, необхідні для складання рівнянь динаміки руху.

стійкість руху, жниварний МТА, траєкторія, динаміка руху

Стійкість руху відіграє важливу роль в роботі польових МТА призначених для механізації робіт в рослинництві. Від стійкості руху залежить не тільки якість, але в деяких випадках і можливість виконання технологічних операцій. Якщо даже стійкість руху МТА безпосередньо і не вирішує можливість проведення тієї чи іншої операції по догляду за рослинами, то все одно вона відіграє важливу роль в виконанні польових робіт. Так, від стійкості руху залежить траєкторія і енергоємність переміщення МТА. Правомірно допустити, що чим ближче реалізуєма траєкторія наближається до бажаної, тим менший шлях проходить агрегат і тим менші витрати пального і часу необхідно на його переміщення.

Схема жниварного МТА як технічної системи об'єднаної в єдине ціле з прикладеними силами, моментами і геометричними параметрами представлено на рис.1.

Жниварний машинно-тракторний агрегат складається з трактора МТЗ-80, агрегатованого з жниваркою ЖВП-6,4. Трактор має колісну формулу 4К2 з приводом на задні ведучі колеса. Рушійна сила агрегату обумовлена активними силами P_k , що діють на привідні задні колеса. Всі колеса жниварного МТА як трактора, так і жниварки мають опір перекочування по полю F_{ci} . У випадках неспівпадання напрямку руху МТА з напрямком сили опору виникають бокові сили $F_{\delta i}$. Вони характерні для передніх керованих коліс трактора і опорних коліс серійної жниварки. Геометричні суми сил опору і бокових сил дають суму сил F_i , що діють на вказані колеса.

$$\bar{F} = \bar{F}_{ci} + \bar{F}_{\delta i}. \quad (1)$$

Результуюча сила направлена в напрямку швидкості руху \bar{V}_0 МТА.

Для вивчення динаміки і стійкості руху жниварного МТА доцільно розглянути його в системі нерухомих декартових координат ХОУ. Відповідно до прийнятої системи встановлені координати центрів ваги трактора X_{ct}, Y_{ct} і жниварки X_{cj}, Y_{cj} .

Внаслідок асиметричного навантаження агрегату сумарний його опір зміщується вправо відносно центральної повздовжньої осі трактора. Утворений момент сприяє розвертанню агрегату за годинниковою стрілкою. Для компенсації цього небажаного зміщення і його зрівноваження оператор вимушений розвертати передні керовані колеса на деякий кут α , створюючи тим самим бокові зусилля $F_{\delta n}$, які породжують реактивний момент, направлений проти годинникової стрілки.

Згідно прийнятих на рис.1 позначень умову зрівноваженості дії сил відносно точки зчеплення можна записати слідуочим чином.

$$M_{ж} = M_{т} \quad (2)$$

Або

$$\sum F_{\delta i} \cdot a_i = 2 \cdot F_{\delta n} \cdot l_1, \quad (3)$$

a_i – плече і-сили діючої на жниварку;

l_1 – міжосьова відстань трактора.

Рух жнивального МТА як динамічної системи обумовлюється дією прикладених сил і характером зв'язків, що об'єднують функціональні частини в єдину технічну систему. Зв'язком для жнивального агрегату є шарнірне зчеплення між трактором і жниваркою. Цей зв'язок носить геометричний голономний характер і обмежує рух жниварки.

Для аналізу динаміки руху жнивального МТА в дослідженні зроблено ряд припущень, що дадуть змогу моделювання процесів без втрати основних закономірностей переміщення агрегату як автономної технічної системи:

- при розгляді руху враховуються тільки основні елементи, які здійснюють свої поступальні та обертальні переміщення;

- усі точки МТА, що здійснюють рух по полю, переміщуються у площинах паралельних площині осей координат ХОУ;

- рух жнивального МТА починається з моменту часу t_0 , якому відповідає швидкість руху $V_0=0$ (стан спокою). В процесі переміщення швидкість руху не міняється, а вважається величиною сталою;

- енергозасіб (трактор) і причіпна жниварка з боковою навіскою представляють собою механічну систему, з'єднану шарнірно, що здійснює плоско-паралельний рух відносно поверхні поля (система координат ХОУ);

- МТА рухається рівномірно, а профіль поля під колесами однаковий і не суттєво впливає на траєкторію руху. Опорні колеса мають постійний локальний контакт з поверхнею поля;

- опір переміщення МТА є випадковою величиною, що зводиться до функцій часу від сили $F_c(t)$ і моменту $M_c(t)$, які прикладені до центральних осей і центрів мас трактора та жниварки. Усередині загальні сумарні значення опорів вважаються величинами постійними;

- центр мас трактора і жниварки знаходяться на головних повздовжніх осях;

- прийнято, що при переміщенні МТА опір поверхні виникає тільки за рахунок деформації та зминання ґрунту боковими поверхнями опорних коліс. Сила тертя опорних коліс по ґрунту входить складовою в загальний тяговий опір переміщення МТА;

- вплив відцентрових сил і гіроскопічних моментів інерції не враховується внаслідок незначних їх величин.

Відповідно до прийнятих позначень (рис.1) відстань між точками приєднання жнивarki до трактора (точка O_2) і центром її маси (точка $C_{ж}$) дорівнює:

$$l_2 = \sqrt{a_2^2 + b_2^2}. \quad (4)$$

Врахувачи координату цих точок можна записати:

$$(x_{02} - x_{сж})^2 + (y_{02} + y_{сж})^2 = \sqrt{a_2^2 + b_2^2}. \quad (5)$$

Отримане рівняння і є рівнянням зв'язку, що обмежує рух жнивarki як причіпного агрегату до енергоносія. Координати центру маси жнивarki завжди можна виразити через задані a_2 , b_2 параметри і кут відхилення φ_n .

$$\begin{cases} x_{сж} = a_2 \cdot \cos \varphi_n + b_2 \cdot \sin \varphi_n; \\ y_{сж} = a_2 \cdot \sin \varphi_n + b_2 \cdot \cos \varphi_n \end{cases}, \quad (6)$$

де, a_2 – відстань між точкою зчеплення і головною віссю жнивarki;
 b_2 - зміщення центра мас жнивarki по її головній осі.

Тоді рівняння зв'язку після підстановки представляється наступним чином:

$$(x_{02} - a_2 \cdot \cos \varphi_n - b_2 \cdot \sin \varphi_n)^2 + (y_{02} - a_2 \cdot \sin \varphi_n - b_2 \cdot \cos \varphi_n)^2 = \sqrt{a_2^2 + b_2^2}. \quad (7)$$

Отримане рівняння зв'язку знижуючи ступінь вільності системи остаточно визначає кількість незалежних узагальнених координат за допомогою яких однозначно може бути описана динаміка руху жниварного МТА з причіпною боковою навіскою. До цих координат належать:

- координати центра мас трактора $X_{ст}$, $Y_{ст}$;
- кут поворота повздовжньої осі трактора навколо центра мас $\beta_{ст}$;
- кут повороту жнивarki навколо центра мас $\beta_{сж}$.

Загальний вигляд рівняння для жнивального МТА з урахуванням голономності зв'язків представляється у вигляді:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dT}{d\dot{q}_s} \right) - \frac{dT}{dq_s} = Q_s, \quad (9)$$

де T - кінетична енергія системи ;

q_s - узагальнені координати;

S - індекс узагальненої координати;

Q_s - узагальнена сила (момент), що відповідає прийнятій узагальненій координаті.

Кінетична енергія жнивального МТА складається з кінетичної енергії енергоносія (трактора) і кінетичної енергії агрегатованої сільськогосподарської машини (жниварки). В свою чергу, кінетична енергія кожної із складових технічної системи утворюється поступовим і обертовим переміщенням. Тому, в загальному вигляді кінетичну енергію МТА можна записати у вигляді слідуючої суми:

$$T = \sum_{i=1}^2 T_i = 0,5 \cdot \sum_{i=1}^2 [m_i \cdot (\dot{x}_i^2 + \dot{y}_i^2) + I_i \omega_i^2]. \quad (10)$$

Оскільки розглядається двумасова система, що складається з трактора і жниварки, то виходячи з загального визначення кінетичної енергії (рівняння 10) можна записати.

$$T = \frac{1}{2} \cdot m_m \cdot (\dot{x}_{cm}^2 + \dot{y}_{cm}^2) + \frac{1}{2} \cdot I_m \cdot \omega_m^2 + \frac{1}{2} \cdot m_{жк} \cdot (\dot{x}_{сжк}^2 + \dot{y}_{сжк}^2) + \frac{1}{2} \cdot I_{жк} \cdot \omega_{жк}^2, \quad (11)$$

де m_m – маса трактора;

x_{cm}, y_{cm} – координати центра мас трактора;

I_m – момент інерції трактора;

ω_{cm} – кутова швидкість повороту трактора навколо власного центра мас;

$m_{жк}$ – маса жниварки;

$x_{сжк}, y_{сжк}$ – координати центра ваги жниварки;

$I_{жк}$ – момент інерції жниварки;

$\omega_{жк}$ – кутова швидкість повороту жниварки навколо власного центра мас.

Складові швидкостей $\dot{x}_{cm}, \dot{y}_{cm}, \dot{x}_{сжк}, \dot{y}_{сжк}$ знаходяться виходячи з геометричних параметрів побудови МТА. За основу відліку прийняті координати x_{cm}, y_{cm} . Відповідно до них координати центру мас жниварки визначаються рівняннями:

$$\begin{cases} x_{сжк} = x_{cm} - (l_1 - a_1) \cdot \sin \beta_{cm} - a_2 \cdot \sin \beta_{сжк} - e_2 \cdot \cos \beta_{сжк} \\ y_{сжк} = y_{cm} - (l_1 - a_1) \cdot \cos \beta_{cm} - a_2 \cdot \cos \beta_{сжк} - e_2 \cdot \sin \beta_{сжк} \end{cases}; \quad (12)$$

де, a_1 – відстань між передньою віссю трактора і центрами мас трактора.

Швидкість переміщення центра мас жниварки знаходяться диференціюванням системи рівнянь (12) по часу.

$$\begin{cases} \dot{x}_{сжк} = \dot{x}_{cm} - (l_1 - a_1) \cdot \dot{\beta}_{cm} \cdot \cos \beta_{cm} - a_2 \cdot \dot{\beta}_{сжк} \cdot \cos \beta_{сжк} + e_2 \cdot \dot{\beta}_{сжк} \cdot \sin \beta_{сжк} \\ \dot{y}_{сжк} = \dot{y}_{cm} + (l_1 - a_1) \cdot \dot{\beta}_{cm} \cdot \sin \beta_{cm} + a_2 \cdot \dot{\beta}_{сжк} \cdot \sin \beta_{сжк} + e_2 \cdot \dot{\beta}_{сжк} \cdot \cos \beta_{сжк} \end{cases}. \quad (13)$$

У відповідність встановленим узагальненим координатам визначимо узагальнені сили. В проекції на вісь x маємо:

$$Q_{x_{cm}} = \frac{\left[\sum_{i=1}^2 \delta A \cdot (F_i) \right] \cdot x_{cm}}{\delta \cdot x_{cm}} \quad (14)$$

або

$$Q_{x_{cm}} = \frac{\sum_{i=1}^2 F_{xi} \cdot \delta x_i}{\delta x_{cm}} \quad (15)$$

Так як $\delta x_i = \delta x_{ст.}$, то

$$Q_{x_{cm}} = \sum_{i=1}^2 F_{xi} = F_{x_{cm}} + F_{x_{ж}}$$

По аналогії узагальнена сила, що діє у напрямку осі, дорівнює сумі

$$Q_{y_{cm}} = \sum_{i=1}^2 F_{yi} = F_{y_{cm}} + F_{y_{ж}}, \quad (16)$$

де $\sum_{i=1}^2 F_{xi}$ і $\sum_{i=1}^2 F_{yi}$ - сума проєкцій усіх сил на і ланку системи, що діють відповідно

в проєкціях на вісь x і вісь y;

$\delta A(F_i)$ – варіації роботи суми сил F_i ;

δx , δy – варіації переміщень у напрямку осей x і y.

Узагальнені сили (моменти), що виникають в результаті кутових переміщень трактора $\beta_{ст}$ і жнивarki $\beta_{ж}$ можуть бути визначені, як варіації робіт при цих переміщеннях. Для цього визначимо координати шарніра приєднання жнивarki до трактора (точки O_2).

З геометричних побудов координати точки O_2 складають:

$$\begin{cases} x_{02} = x_{cm} - (l_1 - a_1) \cdot \sin \beta_1 \\ y_{02} = y_{cm} - (l_1 - a_1) \cdot \cos \beta_1 \end{cases} \quad (18)$$

Варіації координат точки зчеплення O_2 будуть:

$$\begin{cases} \delta x_{02} = \delta x_{cm} - (l_1 - a_1) \cdot \delta \beta_{cm} \cdot \cos \beta_{cm} \\ \delta y_{02} = \delta y_{cm} + (l_1 - a_1) \cdot \delta \beta_{cm} \cdot \sin \beta_{cm} \end{cases} \quad (19)$$

Узагальнена сила (момент сили), що діє на трактор в центрі його масс:

$$Q_{\beta_{cm}} = \frac{\left[\sum_{k=1}^n \delta A(F_k) \right] \cdot \beta_{cm}}{\delta \cdot \beta_{cm}} \quad (20)$$

або підставивши складові

$$Q_{\beta_{cm}} = M_{cm} - M_{om} + \frac{1}{\delta \beta_{cm}} \left[F_{x_{02}} \cdot \delta x_{02} + F_{y_{02}} \cdot \delta y_{02} \right] \quad (21)$$

Звідкіля

$$Q_{\beta_{ct}} = M_{ct} - M_{ot} + (l_1 - a_1) \cdot [F_{x02} \cdot \sin \beta_{ct} - F_{y02} \cdot \cos \beta_{ct}] . \quad (22)$$

Відповідно по аналогії для узагальненого кутового переміщення центра мас жнивarki запишемо:

$$Q_{\beta_{жк}} = M_{сжк} - M_{ожк} . \quad (23)$$

Встановлені геометричні параметри жниварного МТА з боковою навіскою, зв'язки між елементами системи і силові фактори, що діють на них необхідні для складання рівнянь динаміки руху, що буде проведено в подальших дослідженнях.

Список літератури

1. Авдеев В.М. Устойчивость и управление движением колесного шарнирно - сочлененного трактора по грунту в составе сельскохозяйственного агрегата. Автограф, Харьков. 1985.
2. Аветисян Р.Д. Исследования устойчивости движения и управления культиваторным агрегатом при междурядной обработке пропашных культур на силосах. Автограф. Єреван. 1974.
3. Бартаханов П.Б. Исследования устойчивости движения и управления колесного агрегата в условиях эксплуатации.-М.: Колос, 1965.
4. Бычков Н.И. Обоснование схем агрегатирования машин./ Механизация и электрификация сельского хозяйства.- 1981.- №6.

А. Бойко, Л. Савченко

Определение структуры силовых факторов, которые действуют на жатный машинно-тракторный агрегат с боковой навеской

В статье рассмотрен фактор устойчивости движения машино-тракторных агрегатов от которых зависят качественные и эксплуатационные показатели технических операций, в том числе траэктория и энергоёмкость МТА. Установлены геометрические параметры жниварного МТА с боковой навеской, связи между элементами системы и силовые факторы, которые действуют на них, необходимые для составления уравнений динамики движения.

A. Boiko, L. Savchenko

The determination of structure of power factors which operating on the harvesting machine-tractor units with side hinge-plate

In this article it is examined the factors steadiness of movement machine-tractor units from which depend the qualities and operating factors technical operations including trajectory and energy intensity of MTU. Installed geometric parameters of harvesting MTU with side hinge-plate, connections between elements of system and forcing factors which acting to them are necessary for the creating equation of dynamics of movement.

Одержано 19.09.09