

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ СТРУКТУРИ ПОСІВНОГО МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ

***Р. В. Антощенко, кандидат технічних наук
А. Т. Лебедєв, доктор технічних наук***

***Харківський національний технічний університет
сільського господарства імені Петра Василенка***

В роботі визначена ефективна структура посівного машинно-тракторного агрегату за рахунок дослідження математичної моделі його динаміки. Наведені результати розрахунку швидкостей елементів посівного агрегату та відхилення від прямолінійної траєкторії руху.

Математична модель, динаміка, трактор, бункер, сівалка.

Постановка проблеми. Сільськогосподарські машинно-тракторні агрегати являють собою багатоелементні мобільні машини. Комбіновані посівні агрегати складаються із трьох елементів, таких як трактор, ємність для посівного матеріалу й сівалки, які рухаються послідовно один за одним [1]. Основні компоновальні схеми посівних агрегатів, у яких ємність і сівалка можуть міняти послідовність розташування [2] або ємність для посівного матеріалу може перебувати на тракторі й бути жорстко пов'язана з ним. Динаміка даних багатоелементних машин залишається недостатньо дослідженою.

Аналіз останніх публікацій. Для дослідження динаміки багатоелементних машинно-тракторних агрегатів застосовують принцип Д'аламбера-Лагранжу [3] або рівняння Лагранжу 2-го роду [4]. Існує робота [5] у якій рух мобільної машини вивчають разом з напівпричепом за допомогою рівнянь Лагранжу 1-го роду. Питання агрегування посівних агрегатів в залежності від його конструкції досліджено в роботі [2].

Мета досліджень: теоретичне дослідження просторової математичної моделі динаміки багатоелементного комбінованого машинно-тракторного агрегату.

Результати дослідження. На полях України одержали широке поширення комбіновані посівні машинно-тракторні агрегати виробництва John Deere (рис. 1).



Рис. 1. Комбінований посівний машинно-тракторний агрегат John Deere 8345R + John Deere 1890+ John Deere 1910.

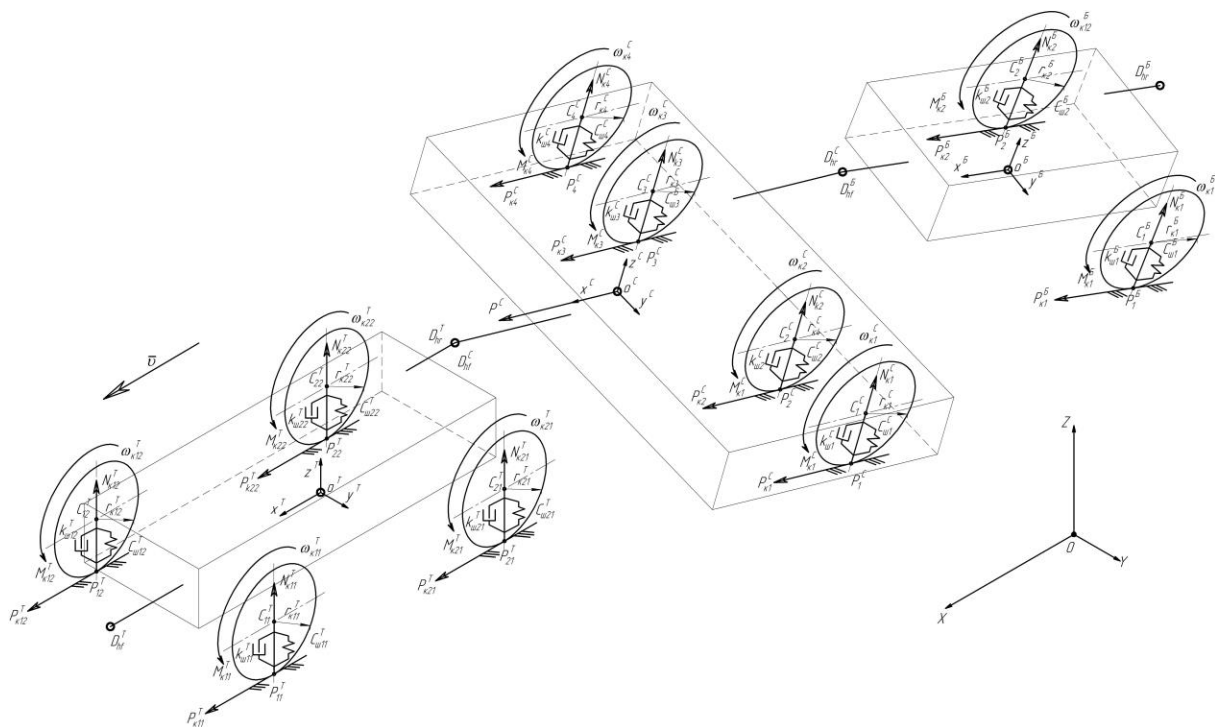


Рис. 2. Динамічна модель багатоелементного комбінованого машинно-тракторного агрегату.

Вибір оптимальних режимів руху й агрегування дозволяє вивчення їх динаміки. Для вирішення поставленого завдання, розглянемо просторову динамічну модель комбінованого посівного машинно-тракторного агрегату, яка представлена на рис. 2 і використовуємо наступні позначення: n – верхній індекс, що приймає значення T, B, C та вказує приналежність змінної елементу агрегату, відповідно трактору, бункеру, сівалці; $XOYZ$ – глобальна система координат; $xoyz^n$ – зв'язана система координат; т. o^n – центр мас; т. O – центр глобальної системи координат; α, β, γ^n – кути повороту моделі навколо відповідних осей x, y, z ; m^n – маса елемента агрегату; J_x^n, J_y^n, J_z^n – приведені моменти інерції до відповідних до осей; $\bar{v}$ –

поступальна швидкість руху; D_{hf}^n , D_{hr}^n – переднє й заднє місця навішення (приєднання технологічного устаткування; $P\kappa_{ij}^n$, $M\kappa_{ij}^n$, $N\kappa_{ij}^n$ – дотична сила тяги, момент і нормальна реакція на відповідному колесі агрегату; Cw_{ij}^n , kw_{ij}^n – приведені жорсткість та піддатливості шин елементів агрегату. Для чисельного інтегрування системи загальних диференціальних рівнянь розглянемо алгоритми для їхнього перетворення до нормальної форми Коші в узагальнених координатах або псевдокоординатах [6]. Для голономних систем введемо вектори узагальнених прискорень і швидкостей – $\mathbf{w} = \dot{\mathbf{v}} = \ddot{\mathbf{q}}$, $\mathbf{v} = \dot{\mathbf{q}}$ та запишемо у вигляді:

$$\mathbf{M}\mathbf{w} = \mathbf{F}, \quad (1)$$

де: $\mathbf{M} = \sum_{i=1}^n \{ \mathbf{W}_{C_i}^T m_i \mathbf{W}_{C_i} + \mathbf{W}_{\omega_i}^T [\bar{J}_i] \mathbf{W}_{\omega_i} \}$ – матриця інерції системи, $\mathbf{F}$ – вектор-матриця узагальнених сил системи за винятком доданків з інерційних членів лівої частини, що не містять узагальнених прискорень, який можна одержати, підставивши в аналітичні вирази рівнянь руху рівні нулю псевдоприскорення та взявши результат зі зворотним знаком, тобто [6]:

$$\mathbf{F} = -\mathbf{U}|_{\ddot{\mathbf{q}}=0}.$$

Після вирішення системи (1) щодо узагальнених прискорень – $\mathbf{w} = \mathbf{M}^{-1}\mathbf{F}$, остаточно одержимо СЗДУ у формі Коші для неголономних систем:

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{q}} = \mathbf{G}\mathbf{v} + \mathbf{g} \\ \dot{\mathbf{v}} = \mathbf{M}^{-1}\mathbf{F} \end{cases}. \quad (2)$$

Початковими умовами для системи будуть значення узагальнених координат і незалежних узагальнених швидкостей (псевдошвидкостей) у початковий момент часу:

$$\mathbf{q}|_{t=0} = \mathbf{q}_0, \quad \boldsymbol{\pi}|_{t=0} = \boldsymbol{\pi}_0.$$

Динамічна модель багатоелементного комбінованого машинно-тракторного агрегату (рис. 2) має вісім узагальнених координат, тобто вісім ступеней свободи:

$$\dot{\mathbf{q}} = [X^T, Y^T, Z^T, \beta^T, \alpha^C, \beta^C, \alpha^B, \beta^B]^T. \quad (3)$$

У якості незалежних координат із залежними варіаціями обрані:

$$\dot{\mathbf{v}} = [\alpha^T, \gamma^T, \varphi_{11}^T, \varphi_{12}^T, \varphi_{21}^T, \varphi_{22}^T, \gamma^C, \varphi_1^C, \varphi_2^C, \varphi_3^C, \varphi_4^C, \gamma^B, \varphi_{11}^B, \varphi_{12}^B]^T. \quad (4)$$

Математична модель динаміки багатоелементного МТА має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{X}^T = f_1(\mathbf{G}, \mathbf{g}, \mathbf{M}, \mathbf{F}); \\ \dot{Y}^T = f_2(\mathbf{G}, \mathbf{g}, \mathbf{M}, \mathbf{F}); \\ \dot{Z}^T = f_3(\mathbf{G}, \mathbf{g}, \mathbf{M}, \mathbf{F}); \\ \beta^T = f_4(\mathbf{G}, \mathbf{g}, \mathbf{M}, \mathbf{F}); \\ \dot{\alpha}^C = f_5(\mathbf{G}, \mathbf{g}, \mathbf{M}, \mathbf{F}); \\ \dot{\beta}^C = f_6(\mathbf{G}, \mathbf{g}, \mathbf{M}, \mathbf{F}); \\ \dot{\alpha}^B = f_7(\mathbf{G}, \mathbf{g}, \mathbf{M}, \mathbf{F}); \\ \dot{\beta}^B = f_8(\mathbf{G}, \mathbf{g}, \mathbf{M}, \mathbf{F}), \end{array} \right. \quad (5)$$

де: f_i – функції від векторів-матриць $\mathbf{G}, \mathbf{g}, \mathbf{M}, \mathbf{F}$; $i = 1, \dots, 8$ – порядковий номер узагальненої координати.

Рівняння незалежних координат із залежними варіаціями мають вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{\alpha}^T = \frac{a^T \dot{X}^T + b^T \dot{Y}^T + c \dot{Z}^T - \beta^T (d^T \cos \gamma^T + \sin \gamma^T)}{\cos \gamma^T - d^T \sin \gamma^T}; \\ \dot{\gamma}^T = \alpha^T \beta^T + v B_x^T \frac{\operatorname{tg} \gamma^T}{l^T}; \\ \dot{\phi}_{11}^T = \frac{v C_{11_{xy}}}{Z_{C_{11}}^T}; \quad \dot{\phi}_{12}^T = \frac{v C_{12_{xy}}}{Z_{C_{21}}^T}; \\ \dot{\phi}_{21}^T = \frac{v C_{21_{xy}}}{Z_{C_{21}}^T}; \quad \dot{\phi}_{22}^T = \frac{v C_{22_{xy}}}{Z_{C_{22}}^T}; \\ \dot{\gamma}^C = \frac{v y A^C}{l_1^C - h f_x^C} + \alpha^C \beta^C; \\ \dot{\phi}_1^C = \frac{v C_{1x}^C}{Z_{C_1}^C}; \quad \dot{\phi}_2^C = \frac{v C_{2x}^C}{Z_{C_2}^C}; \\ \dot{\phi}_3^C = \frac{v C_{3x}^C}{Z_{C_3}^C}; \quad \dot{\phi}_4^C = \frac{v C_{4x}^C}{Z_{C_4}^C}; \\ \dot{\gamma}^B = \frac{v y A^B}{l_1^B - h f_x^B} + \alpha^B \beta^B; \\ \dot{\phi}_1^B = \frac{v C_{1x}^B}{Z_{C_1}^B}; \quad \dot{\phi}_2^B = \frac{v C_{2x}^B}{Z_{C_1}^B}. \end{array} \right. \quad (6)$$

Розглянемо результати теоретичних досліджень математичної моделі динаміки комбінованого машинно-тракторного агрегату на прикладі агрегату John Deere 8345R + John Deere 1840 + John Deere 1910 (трактор-сівалка-бункер) та порівняємо з результатами дослі-

дження динаміки МТА при агрегуванні в послідовності трактор-бункер-сівалка. Результати моделювання та порівняння наведені на рис. 3, рис. 4.

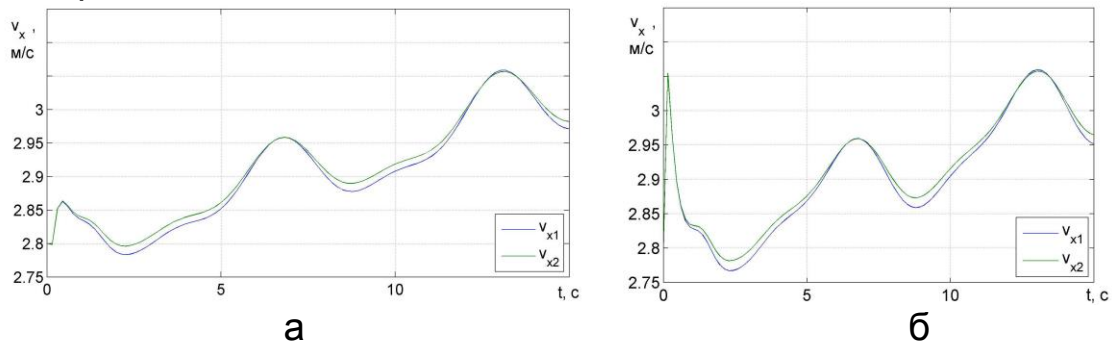


Рис. 3. Поступова швидкість центру мас бункеру (v_{x1}) та сівалки (v_{x2}) при агрегуванні трактор-бункер-сівалка (а) та трактор-сівалка-бункер (б).

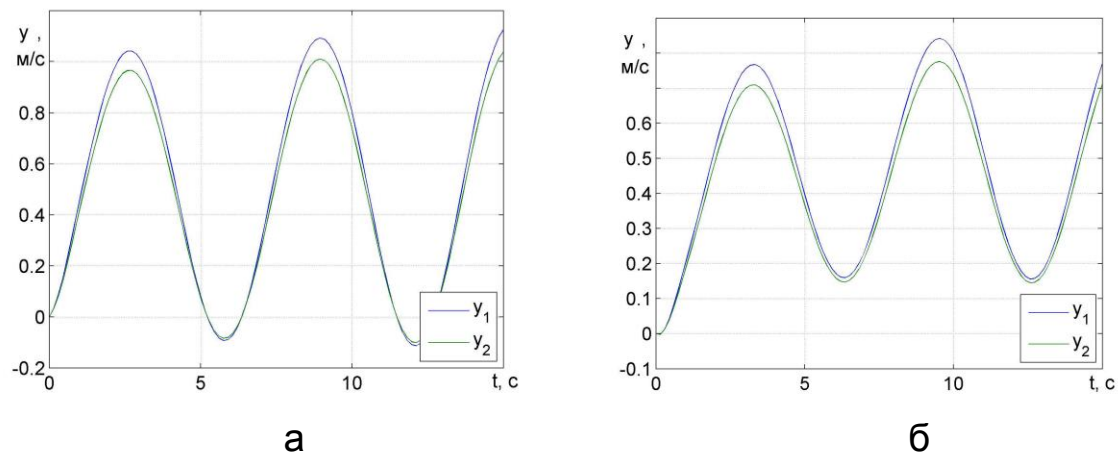


Рис. 4. Відхилення центрів мас центру мас бункеру (y_1) та сівалки (y_2) при агрегуванні трактор-бункер-сівалка (а) та трактор-сівалка-бункер (б).

Поступові швидкості елементів агрегату (рис. 3) для схеми агрегування трактор-сівалка-бункер нижче на 5 % ніж для схеми трактор-бункер-сівалка. Відповідно, розмах коливань відхилень елементів МТА від прямолінійної траєкторії нижче (рис. 4). Це призводить до зниження витрат енергії на рух агрегату та виконання технологічної операції та зменшенню витрати палива на 3-5 %.

Висновки

1. Запропонована методологія дослідження динаміки багатоеlementних агрегатів дозволяє в короткий термін порівнювати динамічні показники їх функціонування та схеми агрегування і робити висновки, щодо ефективності використання.

2. Агрегування посівних комплексів John Deere 8345R + John Deere 1840 + John Deere 1910 за схемою трактор-сівалка-бункер в

окремих випадках дозволяє знизити миттєві швидкості елементів агрегату на 5% та знизити розмах коливань відхилень елементів МТА від прямолінійної траєкторії.

3. Зниження динамічних показників МТА призводить до зниження витрат енергії на рух агрегату та виконання технологічної операції та зменшенню витрати палива на 3-5 %.

Список літератури

1. Антощенко Р. К определению кинематических связей, углов и скоростей колёс пространственной математической модели движения многоэлементного машинно-тракторного агрегата [Текст] / Р. Антощенко, А. Лебедев, В. Толсто-луцкий // MOTROL. – Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. – Vol. 17, №7 – 2015. – Lublin. – С. 11–16.
2. Красовских В. С. Результаты исследования почвообрабатывающего посевного тягово-транспортного агрегата [Текст] / В. С. Красовских, Н. Н. Бережнов // Вестник АГАУ. 2007. – С. 57–62.
3. Adamchuk V. Study plane-parallel motion movement combined seeding unit / V. Adamchuk, I. Petrychenko, M. Korenko, H. Beloev, B. Borisov // III International scientific and technical congress agricultural machinery. Proceedings. Varna. 2015. – Vol. 1. – P. 7–11.
4. Liljedahl J.B., Turnquist P.K., Smith D.W. and Hoki M. Tractors and Their Power Units / ASAE, St. Joseph. – 1996. MI. – P. 345–361.
5. Chieh C. Dynamic modeling of articulated vehicles for automated highway systems / In Proceedings of the American Control Conference, Seattle, USA. 1996. – P. 653–657.
6. Антощенко Р. В. К построению уравнений динамики мно-гоэлементного машинно-тракторного агрегата / Р. В. Антощенко, Л. Н. Тищенко, Ю. М. Андреев // Вибрации в технике и технологиях. – Винница. – 2015. – №3(79). – С. 69–79.

В работе определена эффективная структура посевного машинно-тракторного агрегата за счет исследования математической модели его динамики. Приведенные результаты расчета скоростей элементов посевного агрегата и отклонения от прямолинейной траектории движения.

Математическая модель, динамика, трактор, бункер, се-ялка.

The paper identified an effective structure of sowing tractor unit due to the mathematical model study its dynamics. The results of calculation speeds elements sowing aggregate and deviations from the straight trajectory.

Mathematical model, dynamics, tractor, hopper, seeder.