

## ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ РУХУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО АГРЕГАТУ

Козаченко О.В., д-р техн. наук

(Харківський національний технічний університет  
сільськогосподарства імені Петра Василенка, Україна)

*Розглянуто вплив системи керування на стійкість руху сільськогосподарського агрегату для випадку зміни додаткової рушійної сили за синусоїдальним законом*

**Постановка проблеми.** Наслідком порушення стійкості руху сільськогосподарських агрегатів, зокрема ґрунтообробних, є відхилення від встановлених вимог до якості виконання технологічного процесу, що полягає у нерівномірності обробітку ґрунту, наявності огріхів та перекриття поверхонь обробітку, неповне знищення бур'янів, а також збільшення витрат пального на виконання роботи. Усунення таких небажаних наслідків, що супроводжують роботу агрегату, може бути досягнуто шляхом вибору раціональних параметрів системи керування для заданих умов руху.

**Аналіз останніх досліджень і публікації за темою.** Відомі дослідження у галузі землеробської механіки [1,2] містять інформацію про суттєвий вплив стійкості руху агрегату на якість виконання технологічного процесу обробітку ґрунту. Коливання агрегату мають суттєвий вплив також і на його енергетичні показники [3]. При цьому стійкість швидкості руху агрегату, зокрема при виконанні ґрунтообробних операцій, забезпечує якість виконання процесу. В [4] для вивчення цієї проблеми розглянуто рух агрегату під дією рушійної сили та сил опору. Встановлено, що при зміні сил опору за синусоїдальним законом і постійному значенні рушійної сили, яка забезпечується системою регулювання енергетичного засобу, коливання відбувається навколо режиму швидкості, що має менше середнє значення у порівнянні із заданим. Це, у відповідності до [5], обумовлює фактичну ступінь нерівномірності руху агрегату. Але відомо [6], що для створення умов рівномірного руху є необхідним його керованість. Як правило, під керованим рухом розуміють наявність в машині автоматичної системи керування. Але для таких систем основним характерним недоліком є запізнення спрацювання за часом.

**Мета дослідження.** Розглянути вплив запізнення системи керування на стійкість руху сільськогосподарського агрегату при виконанні технологічного процесу для випадку зміни додаткової рушійної сили за синусоїдальним законом.

**Результати досліджень.** Для розгляду впливу запізнення системи керування на стійкість руху агрегату прийнято припущення, що зміна додаткової рушійної сили відбувається також за синусоїдальним законом. З урахуванням прийнятих умов, закон руху має наступний вигляд:

$$m_a \ddot{x} = \Delta P_p \sin \omega(t - \tau) - \Delta P_0 \sin \omega t, \quad (1)$$

де  $\Delta P_p, \Delta P_0$  – максимальні значення відхилень рушійної сили та сил опору від середнього значення, відповідно;

$\tau$  – час запізнення по керуванню рушійною силою.

Для зручності розрахунків з урахуванням синусу різниці кутів  $\omega t - \omega \tau$ , представимо рівняння (1) наступним чином:

$$m \ddot{x} = (\mu_k \cos \tau - 1) \Delta P_0 \sin \omega t - \mu_k \Delta P_0 \sin \omega \tau \cos \omega t, \quad (2)$$

де  $\mu_k$  – коефіцієнт реагування енергетичного засобу на зміну сил опору:

$$\mu_k = \frac{\Delta P_p}{\Delta P_0} \quad (3)$$

Аналіз рівняння (2) вказує на те, що найбільш раціональним керуванням є таке, коли робоча швидкість агрегату  $V_a$  є постійною при виконанні робочого процесу. Ця умова може бути дотримана, коли права частина цього рівняння дорівнюватиме нулю, тобто при  $\tau = 0$  і  $\mu_k = 1$ . Практична реалізація умови, коли  $\tau = 0$  є малоймовірною, можна тільки з'ясувати вплив часу  $\tau$  на коливання робочої швидкості і висунути умови до його раціонального значення. Значення коефіцієнта реагування може здійснюватися в межах, які відрізняються від наведеної умови  $\mu_k = 1$ , але ці значення також повинні підпорядковуватися вимогам до стійкості руху агрегату.

Після дворазового інтегрування рівняння (2) одержимо значення переміщення та швидкості руху агрегату.

$$\begin{aligned} X &= -\frac{\mu_k \Delta P_0}{m_a \omega^2} \sin \omega(t - \tau) + \frac{\Delta P_0}{m_a \omega^2} \sin \omega t + C_1 t + C_2; \\ \dot{X} &= -\frac{\mu_k \Delta P_0}{m_a \omega} \cos \omega(t - \tau) + \frac{\Delta P_0}{m_a \omega} \cos \omega t + C_1. \end{aligned} \quad (4)$$

При початкових умовах :  $t = 0; X(0) = X_0; \dot{X}(0) = V_a$ , постійні коефіцієнти  $C_1$  і  $C_2$  дорівнюють:

$$\begin{aligned} C_1 &= V_a - \frac{\Delta P_0}{m_a \omega} (1 - \mu_k); \\ C_2 &= X_0, \end{aligned} \quad (5)$$

а значення переміщення та швидкості руху агрегату за умови  $t \geq \tau$  мають наступний вигляд:

$$\begin{aligned} X &= X_0 + t \left[ V_a - \frac{\Delta P_0}{m_a \omega} (1 - \mu_k) \right] + \frac{\Delta P_0}{m_a \omega^2} [\sin \omega t - \mu_k \sin \omega(t - \tau)]; \\ \dot{X} &= V_a + \frac{\Delta P_0}{m_a \omega} \{ \cos \omega t - 1 - \mu_k [\cos \omega(t - \tau) - 1] \} \end{aligned} \quad (6)$$

Для аналізу отриманих співвідношень доцільно розглянути окремі випадки. У першому випадку, коли прийняти значення коефіцієнта  $\mu_k = 0$  [4], переміщення і швидкість руху агрегату визначаються залежностями:

$$X = X_0 + V_a t + \frac{\Delta P_0}{m_a \omega^2} (\sin \omega t - \omega t);$$

$$\dot{X} = V_a + \frac{\Delta P_0}{m_a \omega} (\cos \omega t - 1) \quad (7)$$

При цьому встановлено, що коливання відбуваються біля режиму постійної швидкості, яка дорівнює:  $V_a - \Delta P_0 / m_a \omega$ . Це пояснюється зміною складової сили опору згідно синусоїдального закону при постійному значенні рушійної сили. У другому випадку, коли прийняти значення коефіцієнта реагування енергетичного засобу  $\mu_k = 1$ , значення переміщення і швидкості руху дорівнюють:

$$X = X_0 + tV_a + \frac{\Delta P_0}{m_a \omega^2} [\sin \omega t - \sin \omega(t - \tau)];$$

$$\dot{X} = V_a + \frac{\Delta P_0}{m_a \omega} [\cos \omega t - \cos \omega(t - \tau)]. \quad (8)$$

З першої формули системи (8) випливає, що коливання значень пройденого агрегатом шляху відбувається навколо режиму постійної швидкості  $V_a$ , коли спостерігається рівновага рушійної сили  $P_p$  і сили опору  $P_0$ . Розглядаючи швидкість руху агрегату, можна стверджувати, що її коливання залежить від часу запізнення керування  $\tau$ . При  $\tau = 0$  відбувається стійкий рух агрегату з робочою швидкістю  $V_a$ . При збільшенні часу запізнення керування  $\tau$  спостерігається коливання швидкості руху агрегату, і воно збільшується із збільшенням значення  $\tau$ .

Аналіз розрахунків залежності швидкості руху агрегату від коефіцієнта реагування енергетичного засобу на зміну сил опору  $\mu_k$  та часу запізнення керування  $\tau$  (рис. 1) підтверджує висновок про коливання миттєвої швидкості біля режиму заданої робочої швидкості  $V_a$ .

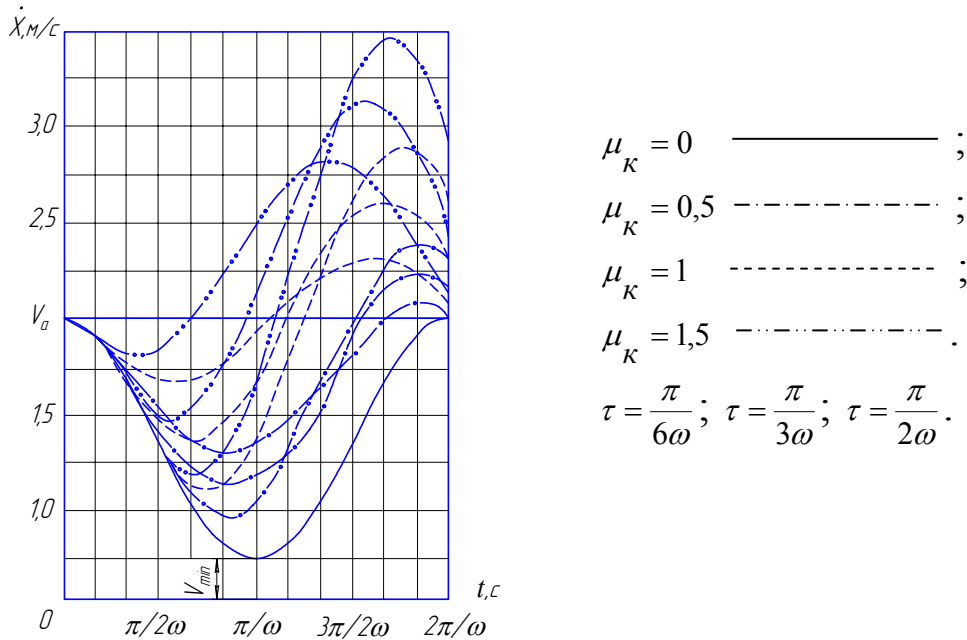


Рис.1 Залежність швидкості руху агрегату від часу запізнення керування  $\mu_k$  та коефіцієнта реагування  $\tau$

У порівнянні з випадком, коли  $\mu_k = 0$ , швидкість руху агрегату  $V_a$  зростає зі збільшенням часу запізнення керування агрегатом, але не перевищує максимального відхилення швидкості руху. Дослідження впливу на коливання робочої швидкості агрегату для випадків, коли  $\mu_k > 1$  і  $\mu_k < 1$  дозволяють зробити наступні висновки. При зменшенні значення коефіцієнта реагування до 0,5 амплітудне значення робочої швидкості у від'ємній зоні збільшується, а в додатній зоні зменшується у порівнянні з випадком, коли  $\mu_k = 1$ . При збільшенні коефіцієнта  $\mu_k$  до 1,5 спостерігається протилежний випадок, а саме, у від'ємній зоні амплітудне значення зменшується, а в додатній збільшується. При цьому коливання швидкості руху агрегату при  $\mu_k = 0,5$  спостерігається при зменшенні робочої швидкості агрегату  $V_a$ . При  $\mu_k > 1$  коливний режим швидкості руху агрегату перевищує роботу швидкості агрегату.

### **Висновки**

1. Система керування енергетичного засобу суттєво впливає на стійкість руху при виконанні технологічного процесу обробітку ґрунту.
2. Стійкість руху сільськогосподарського агрегату забезпечується найбільш ефективно у випадку зміни рушійної сили за законом зміни сил опору при тому амплітудному значенні та часом запізнення керування до 1/6 періоду коливань.

### **Список літератури**

1. Пашенко В.Ф., Ким В.В. Методика построения математических моделей устойчивости движения механических систем: монография. – Х.: Харьк. нац. аграр. ун-т им. В.В. Докучаева, 2010. – 115 с.
2. Хачатрян Х.А. Стабильность работы почвообрабатывающих агрегатов. – М.: Машиностроение, 1974. – 205 с.
3. Цвык Б.Д., Степанов В.Е. Влияние колебаний МТА на его энергетические показатели // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1982. - № 9. – С. 34-35.
4. Козаченко О.В. Исследование движения сельскохозяйственного агрегата с помощью энергетической модели // Экология и сельскохозяйственная техника. Т.2 Экологические аспекты производства продукции растениеводства, мобильной энергетики и сельскохозяйственных машин: Материалы 4-й научно-практической конференции. – СПб.: СЗНИИМЭСХ, 2005. – С. 388 – 393.
5. Горячкин В.П. Собрание сочинений в 3-х томах. Под редакцией Н.Д.Лучинского. – М.: Колос, 1968.
6. Лурье А.Б. Динамика регулирования навесных сельскохозяйственных агрегатов. – Л.: Машиностроение, 1969. – 288 с.

## **Аннотация**

### **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО АГРЕГАТА**

**Козаченко А.В.**

*Рассмотрено влияние системы управления на устойчивость сельскохозяйственного агрегата при движении для случая изменения дополнительной движущей силы по синусоидальному закону.*

## **Abstract**

### **THEORETICAL RESEARCHES OF STABILITY OF MOTION OF AGRICULTURAL AGGREGATE**

**A. Kozachenko**

*The influence of management on the stability of the agricultural unit for motion in the case of an additional driving force for change sinusoidal.*

**УДК 621.757**

### **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СКЛАДАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ У МАШИНОБУДУВАННІ**

**Чибіряк Я.І., Ващенко С.М., Алексенко О.В., Дерев'янчук А.Й.**  
(Сумський державний університет)

*Робота присвячена питанням скорочення тривалості виробничого циклу завдяки побудові раціонального варіанту послідовності складання. Розроблено метод синтезу раціональних варіантів послідовності складання виробів, що враховує ряд технологічних закономірностей послідовності складання і дозволяє мінімізувати тривалість виробничого циклу.*

Ріст темпів технічної реконструкції підприємств в значній мірі досягається удосконаленням виробничих процесів. Аналіз виробництва показав відставання складальних процесів від заготівельних і механооброблюючих [1,3].

Одним із шляхів підвищення рівня складальних виробництв, є розробка раціональних технологічних процесів складання (ТПС). Ефективність ТПС у значній мірі залежить від раціонального синтезу послідовності складання. Від послідовності складання залежить також тривалість виробничого циклу, продуктивність, собівартість [2]. При цьому важливо проектувати таку послідовність складання, що приводила б до скорочення тривалості виробничого циклу, так як це дає змогу збільшити продуктивність праці, знизити собівартість продукції, прискорити обіг коштів, вкладених у