

а також формуванню конкурентоспроможних, з високим рівнем творчих можливостей, здатних до продуктивної праці фахівців.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Вербицкий А.А. Активное обучение в высшей школе: контекстный подход. Метод. пособие. – М.: Высшая шк., – 1992. – 207с.
2. Кудрявцев Т.В. Психология технического мышления. М.,1975.– С.231 - 240.
3. Лузан П.Г. Активізація навчання студентів. – К.: 1999. – 220с.
4. Неперервна професійна освіта: проблеми, пошуки, перспективи: Монографія / За ред. І.А. Зязюна. – Київ, 2000. – 636с.
5. Талызина Н.Ф. Методика составления обучающих программ. – М.: Педагогика, 1980. – 157с.

**УДК 631.512**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СТІЙКОСТІ ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ НА ПРИКЛАДІ КОМБІНОВАНОЇ ҐРУНТООБРОБНОЇ МАШИНИ**

*Храмов М.С., асистент*

*Миколаївський національний аграрний університет*

*В статті наведено методику побудови математичних моделей стійкості функціонування механічних систем. Для розв'язання задач землеробської механіки приведено дослідження на стійкість руху. В даній статті наведено методи дослідження механічних систем на стійкість функціонування а також параметри використання теорії стійкості А.М. Ляпунова. Отримані результати розв'язання математичних моделей дозволяють отримати раціональні параметри для конструювання сільськогосподарських машин.*

*В статье приведена методика построения математических моделей устойчивости функционирования механических систем. Для решения задач земледельческой механики приведены исследования на устойчивость движения. В данной статье приведены методы*

*исследования механических систем на устойчивость функционирования а также параметры использования теории устойчивости А.М. Ляпунова. Полученные результаты решения математических моделей позволяют получить оптимальные параметры для конструирования сельскохозяйственных машин.*

Першими вченими в області землеробської механіки, які брали участь в розробці науково-технічних основ дослідження механіко-технологічних процесів і технічних засобів для їх виконання, що відповідають агротехнічним і еколого-економічним вимогам сільськогосподарського виробництва, були В.П. Горячкин, П.М. Василенко [1, 2]. Згодом рішення цих проблем отримало розвиток в роботах відомих вчених А.С. Кушнар'ова, Я.С. Гукова [3, 4] та ін.

Для обґрунтування технологічних параметрів механічних систем в землеробській механіки використовуються теоретичні та експериментальні методи. Теоретичні методи, в порівнянні з експериментальними, дозволяють швидше і з меншими матеріальними витратами вирішувати завдання землеробської механіки, глибше і ширше осмислювати відповідні проблеми, забезпечують можливість отримання раціональних рішень.

Що ж стосується стійкості ходу сільськогосподарських машин і знарядь як динамічних систем, то це питання і в даний час не має більш-менш ефективного вирішення

Питаннями стійкості ходу сільськогосподарських машин як динамічних систем займалися А.М. Ляпунов [5], М.Г. Четаєв, І.Г. Малкін [6], П.М. Василенко [2], Б.В. Булгаков, Н.П. Еругін, А.І. Лур'є, К.П. Персидський, М.М. Баутін, М.Ш. Амінів, І.М. Вовк, В.Ф. Пашенко [7], В.В. Адамчук [8].

Одним з найбільш загальних механіко-математичних методів досліджень динамічних систем є метод, заснований на варіаційних принципах механіки (метод Лагранжа) і полягає в особливому прийомі складання диференціальних рівнянь руху (диференціальних рівнянь

Лагранжа I і II роду). Ці рівняння виходять шляхом перетворення загальних рівнянь динаміки (рівнянь Даламбера):

$$\sum_{i=1}^{i=n} (F_i, \delta r_i) - \sum_{i=1}^{i=n} (m_i, \dot{v}_i, \delta r_i) = 0, \quad (1)$$

где  $F_i$  – задаваемі сили;  $m_i$  – вага точок системи;  $\dot{v}_i$  – прискорення;  $r_i$  – переміщення;  $\delta r_i$  – можливі переміщення;  $n$  – кількість матеріальних точок системи.

У аналітичній формі рівняння (1) має вигляд:

$$\sum_{i=1}^{i=n} [(F_{ix} - m_i \ddot{x}_i) \delta x_i + (F_{iy} - m_i \ddot{y}_i) \delta y_i + (F_{iz} - m_i \ddot{z}_i) \delta z_i] = 0. \quad (2)$$

та називається рівнянням Даламбера-Лагранжа.

При побудові математичних моделей функціонування механічної системи в зв'язку з тим, що інтенсивності зовнішніх впливів є випадковими величинами, не представляється можливим врахувати всі без винятку впливи на рівень і впливи [9].

Необхідні і достатні умови сталого руху встановлені А.М. Ляпуновим [10]. За А.М. Ляпуновим, система називається стійкою, якщо при відхиленні дії зовнішніх сил на неї або початкових умов, що змінюються в певних межах, зміни траєкторії руху системи будуть незначними. Вчений А.В. Рославцев [11], дав визначення стійкості руху машинно-тракторного агрегату, під яким розуміють здатність його забезпечувати на протязі часу малі відхилення збудження руху від не збудженого без втручання в дію механізатора за допомогою систем керування. З урахуванням, того, що величина збуджуваних зусиль, що впливають на сільськогосподарські машини та знаряддя в порівнянні з масою енергозасобу малі і в агрегатах є керуючі механізми, дослідження диференціальних рівнянь доцільно проводити на асимптотичну стійкість. Показник асимптотичної стійкості визначає здатність системи повертатися до не збудженого закону руху. Мірою такої здатності може служити час

або шлях, необхідні для відновлення закономірності не збудженого руху системи.

Практика моделювання динамічних систем землеробської механіки показує, що отримати загальні та аналітичні рішення диференціальних рівнянь або систем рівнянь, як правило, неможливо. Тому для вирішення задач на стійкість доцільно використовувати другий метод А.М. Ляпунова, який передбачає побудову і дослідження функцій збудженого руху [12].

Для зниження порядку системи диференціальних рівнянь:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial T}{\partial q_j} = Q_{q_j} \quad (3)$$

$$j = \overline{1, N_c}$$

где  $N_c$  – число ступеней свободи системи;

$q_i$  – узагальнена координата.

Тоді, позначивши  $\dot{q} = \omega$  отримаємо систему:

$$\begin{cases} \dot{q} = \omega \\ \dot{\omega} = q_i(q_i; \omega; Q_{q_i}; t) \end{cases} \quad (4)$$

У зв'язку з тим, що в результаті дій зовнішнього середовища на механічні системи вони не втрачають своїх конструктивних зв'язків і не призводять до їх зміни, тоді диференціальні рівняння, що описують не збуджений і збуджений рух, аналітичні тотожним. Рівняння збудженого руху механічної системи має вигляд:

$$\dot{q}_i + \dot{\delta}_i = \omega + \beta,$$

або

$$\begin{cases} \dot{\delta} = \beta \\ \dot{\omega} + \dot{\beta} = q_i(q_i + \delta; \omega + \beta; Q_{q_i}; t) \end{cases} \quad (5)$$

де  $\dot{\delta}_i$  – прирощення узагальненої координати в результаті впливу на систему збудження;

$\beta$  – приріст швидкості узагальненої координати в результаті впливу на систему збудження.

Розкладаємо систему рівнянь (5) в ряд Тейлора з точністю до першого порядку малості:

$$\dot{\omega} + \dot{\beta} = q_i(q_i; \omega; Q_{qi}; t) + q'_{iqi}(q_i; \omega; Q_{qi}; t)\delta + q'_{i\omega}(q_i; \omega; Q_{qi}; t)\beta.$$

Різниця між шуканими рівнянь збудженого і не збудженого рухів механічної системи і визначить систему диференціальних рівнянь збуджень:

$$\begin{cases} \dot{\delta} = \beta \\ \dot{\beta} = q'_{iqi}(q_i; \omega; Q_{qi}; t)\delta + q'_{i\omega}(q_i; \omega; Q_{qi}; t)\beta. \end{cases} \quad (6)$$

Ступінь асимптотичної стійкості системи визначається величиною часу, необхідного для повернення її до не збудженого руху або близького до нього. Для цього вирішуються спільно системи диференціальних рівнянь не збудженого руху системи (3) і збудження (6).

Для підтвердження результатів теоретичних досліджень біло проведено експеримент по визначенню стійкості комбінованої ґрунтообробної машини. Згідно методики експерименту поле розділили на три ділянки з довжиною по 60 м та шириною 4 м, ці значення викликані неперервністю руху агрегату. Рух агрегату здійснювали на II та III передачах та різних діапазонах трансмісії на кожній з ділянок. Для оцінки коливань глибина обробітку ґрунту складала 2...5 см. Після чого заміряли відстань від лінії підрахунку крайньої лапи на пикових точках синусоїди залишаемого по сліду за ходом руху трактора.

Рівняння регресії мало вигляд:

$$y_n = \sum_{k=1}^m [A_k \sin(\omega_k n) + B_k \cos(\omega_k n)],$$

$\omega_k \neq k\omega_1$

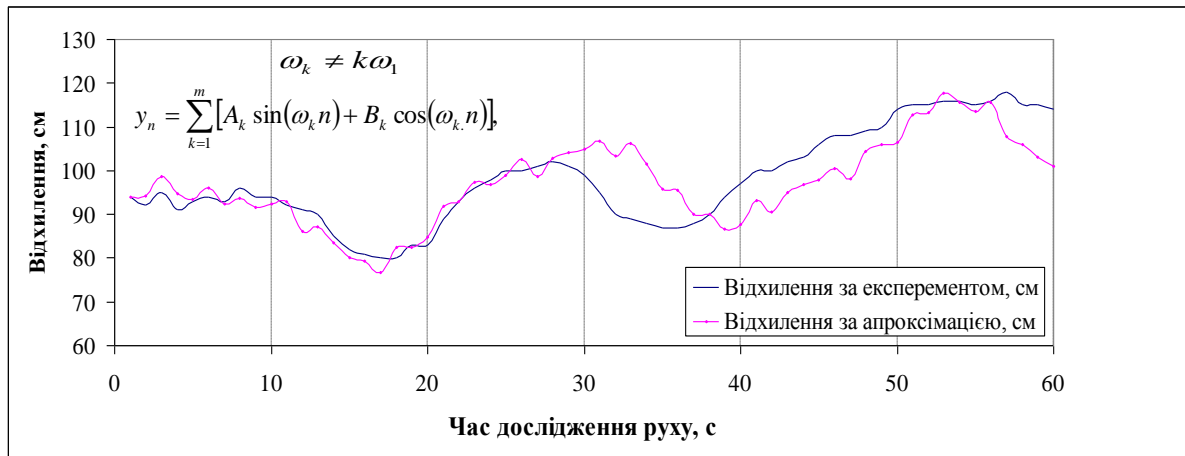


Рис. 1. Характер зміни траєкторії руху комбінованої ґрунтообробної машини за одну хвилину проходу

Таким чином, у польових умовах найбільш ймовірний характер зовнішнього впливу на машинні агрегати дають постійно повторювані дискретні скачки. Для вивчення ступеня такого впливу на динамічні системи проводять дослідження на стійкість руху, яка характеризує здатність механічних систем зберігати задану траєкторію руху.

Процес апроксимації функції дискретного часу  $f_n$  на проміжку  $[1, N]$  відрізком тригонометричного ряду з  $m$  некрatними частотами (тобто частотами, не співвідношеними до періоду спостереження).

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Горячкин В.П. Собрание сочинений. Т.2. 2-е изд. – М.: Колос, 1968. – 455 с.
2. Василенко П.М. Элементы теории устойчивости движения прицепных с.-х. машин и орудий / П.М. Василенко // Сб. научн. тр. по земледельческой механике. – ВАСХНИЛ. – Т. 2. – М.: Сельхозиздат, 1954. С. 79–93.
3. Кушнарев А.С. Механико-технологические основы процесса взаимодействия рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий на почву: дис. ...докт. техн. наук / А.С. Кушнарев. – Челябинск, 1981. – 502 с.

4. Гуков Я.С. Механіко-технологічне обґрунтування енергозберігаючих засобів для механізації обробітку ґрунту в умовах України: автореф. дис. ... докт. техн. наук / Гуков Я.С. – Глеваха, 1998. – 33 с.
5. Ляпунов А. М., Общая задача устойчивости движения / А. М. Ляпунов. Гостехиздат, М. – Л., 1950. – 171 с.
6. Малкин И. Г., Методы Ляпунова и Пуанкаре в теории нелинейных колебаний. / И.Г. Малкин. Гостехиздат, М. – Л., 1949. – 243 с.
7. Пащенко В.Ф. Механіко-технологічні засоби еколого-економічного удосконалення процесів обробітку ґрунту: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.05.11 / Пащенко Володимир Филімонович ; Харківський національний технічний ун-т сільського господарства ім. Петра Василенка. – Х., 2005. – 37 с.)
8. Адамчук В.В. Теорія руху причіпного комбінованого посівного агрегату /В.В. Адамчук, Е.А. Петриченко. // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2015. – Вип. 163. – С. 195-212.
9. Василенко П.М. Методика построения расчетных моделей функционирования механических систем (машин и агрегатов) / П.М. Василенко, К., 1980 – 135 с.
10. Ляпунов А.М. Собрание сочинений / А.М. Ляпунов. – Т.2. – М.-Л.: АН СССР, 1956.
11. Рославцев А.В. Теория движения тягово-транспортных средств / А.В. Рославцев // УМЦ «Триада». – М., 2003. – 171 с.
12. Пащенко В.Ф. Способы обработки почвы под посев озимой пшеницы / В.Ф. Пащенко, Ю.В. Буденный, Н.В. Шевченко // Техника АПК. – 1999. – №6-7. – 51 с.