



УДК 631.37

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АСИМЕТРИЧНОГО АГРЕГАТУ ДЛЯ СІВБИ ПРОСАПНИХ КУЛЬТУР

Чорна Т.С., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 42-04-60, e-mail: tatachyorna@yandex.ua

Анотація – розроблено та перевірено на адекватність математичну модель руху асиметричного просапного агрегату у горизонтальній площині.

Ключові слова – математична модель, адекватність, просапний агрегат, асиметричне агрегування.

Постановка проблеми. Зараз особливо у південному регіоні нашої країни вирощується переважна більшість просапних культур. Так, наприклад, у Запорізькій області вони займають більше 40% від загальної площі. В основному це соняшник, кукурудза та соя.

Серед існуючих систем вирощування просапних культур на півдні України найбільш ефективною є 12-ти рядна з міжряддями 70 см. Її реалізація передбачає використання енергетичних засобів тягового класу 2, але на Україні тракторів даного класу не виробляють. Натомість, відкритим акціонерним товариством “ХТЗ” розроблено сімейство орно-просапних тракторів тягового класу 3 – ХТЗ-120/160, базовим із яких є ХТЗ-120. Проте, використання його з серійними машинами для посіву та догляду за посівами просапних культур із міжряддями 70 см неможливе без зміни колії. Причина полягає в тому, що вказаний енергетичний засіб має колію 2100мм, а для роботи із зазначеним міжряддям вона повинна бути 1400 або 2800 мм. При колії 2100 мм сліди двох висівних секцій просапної сівалки, приєднаної до трактора звичайним (симетричним) способом, будуть потрапляти в колію останнього. В подальшому це призведе до вирізання культурних рядків просапним культиватором, що неприпустимо.

Заводом-виробником було запропоновано проставки, за допомогою яких колію енергетичного засобу збільшують до 2800 мм. Це дозволяє вирішувати проблему, але призводить до погіршення керованості просапного агрегату та підвищує втомленість механізатора. Нами було запропоновано пристрій для автоматичного зміщення проса-

пної сівалки [1] на половину міжряддя, що дає змогу агрегувати серійні машини без зміни колії енергетичного засобу.

Аналіз останніх досліджень. При асиметричному агрегуванні сівалки виникає додатковий момент, який може впливати на якісні показники її роботи. Вони суттєво залежать від прямолінійності рядків оброблюваної культури. Надмірна викривленість останніх може взагалі зробити неможливим їх механізований обробіток із заданою якістю. Звідси випливає, що динаміка руху посівних МТА має бути такою, щоб забезпечити прийнятну непрямолінійність сходів [2, 3].

При вирощуванні просапних культур особливу роль відіграє стійкість та керованість руху агрегатів, що використовуються при їх вирощуванні. Функціонування просапного агрегату можна розглядати як реакцію на вхідні: керуючий та збурюючі впливи. При цьому реакція на керуючий вплив буде характеризувати його керованість, а на збурюючі – стійкість руху. Характер функціонування динамічної системи під час відпрацювання цих впливів залежить від динамічних характеристик, які визначаються, в даному випадку, схемою та параметрами просапного агрегату. Таким чином, виходячи з аналізу керованості та стійкості руху агрегату, треба встановити такі характеристики динамічної системи, які забезпечать їй раціональне перетворення вхідних впливів [4, 5].

У якості збурюючого впливу приймаємо розворотний момент, що створюється завдяки асиметричному навішуванню робочої машини (Δ) та вильоту маркеру (Δ_M), а керуючого впливу – кут повороту керованих коліс трактора (α).

Вихідними змінними параметрами, що задають траєкторію руху МТА під час роботи, є поперечне зміщення центру мас трактора (X_{sT}) та кут відхилення повздовжньої осі від напрямку руху – курсовий кут (φ).

Головними операторами для динамічних систем є передатні функції та частотні характеристики. Вони дають найбільш повну уяву про динамічні якості системи, її реакції на різні збурення та характер перехідних і сталих процесів. Для їх теоретичного визначення необхідна система рівнянь, які зв'язують вихідні параметри з вхідними (тобто математична модель дослідного процесу).

Математичні моделі руху просапних агрегатів розглядали Чудаків Д.А., Баєв І.В., Жиган В.Й., Шкарівський Г.В., Пожидаєв С.П. та інші [6, 7, 8]. Розробкою математичної моделі просапного агрегату на базі трактора ХТЗ-120 займалися Надикто В.Т., Мухамедшин Х.З. [9, 10].

Формулювання цілей статті. Мета даної публікації – розробити математичну модель асиметричного просапного агрегату на базі трак-

тора ХТЗ-160 при його реверсному агрегуванні та перевірити її на адекватність.

Основна частина. Слід підкреслити, що просапний агрегат на базі трактора ХТЗ-160 є складною динамічною системою, а його математична модель представляє собою систему складних диференціальних рівнянь. З метою спрощення їх складання прийняті наступні припущення. Трактор розглядається у вигляді твердого тіла, що має вісь симетрії, яка проходить через центр мас. Коливання тягового опору не суттєво впливає на швидкість руху МТА, тому приймаємо її постійною. Бокова взаємодія шин трактора з деформованою поверхнею, розглядається в рамках гіпотези “бічного відведення”. Кут відведення шин коліс, які розташовані на одній геометричній вісі, а також бічні сили, що діють на них, будемо вважати однаковими. Достатньо малі, а отже, рівні кути повороту керованих коліс трактора. Сили і моменти, які прикладені до симетрично (відносно повздовжньої вісі трактора) розташованих коліс, попарно рівні й паралельні. Вони можуть бути замінені рівнодіючими подвоєними силами та моментами.

Приймаємо, що МТА на гоні здійснює відносно нерухомої площини рівномірний поступальний рух зі швидкістю \mathbf{v}_0 ($\mathbf{v}_0 = \text{const}$). Під час виконання технологічних операцій під впливом випадкових факторів агрегат відхиляється від початкового положення і отримує додаткову швидкість відносно площини \mathbf{XOY} . При цьому площина $\mathbf{X}_T\mathbf{O}_T\mathbf{Y}_T$, що зв’язана з центром мас енергетичного засобу, обертається навколо вісі $\mathbf{S}_T\mathbf{Z}$, яка проходить через точку \mathbf{S}_T . Мірою цього повороту є кут φ , який утворюють повздовжня вісь $\mathbf{S}_T\mathbf{Y}_T$ енергетичного засобу та вісь \mathbf{OY} . Під час відносного руху центр мас енергетичного засобу переміщується вздовж вісі \mathbf{XO} , внаслідок чого змінюється значина координати $\mathbf{X} = \mathbf{OS}_T$.

Таким чином, даний МТА по відношенню до площини \mathbf{XOY} має два ступеня вільності. Їм відповідають дві узагальнені координати – кут φ та зміна координата центру мас енергетичного засобу \mathbf{Xs}_T .

Кутові коливання й переміщення вздовж вісі \mathbf{OX} виникають унаслідок впливу на агрегат постійних за модулем, але змінних за напрямком сил опору кочення і рушійних сил передніх та задніх коліс, а також змінних за значиною і напрямком реакцій опорних поверхонь, що виникають під час деформації шин. Розглянемо сили, що діють на МТА при налаштуванні трактору реверсивним ходом. До зовнішніх сил відносяться (рис. 1):

- дотичні сили передніх \mathbf{P}_{kA} і задніх \mathbf{P}_{kB} коліс та сили опору коченню \mathbf{P}_{fA} і \mathbf{P}_{fB} , які прикладені в точках А і В та утворюють з напрямком руху МТА кути відведення δ_A і δ_B ;
- бокові сили \mathbf{P}_{bA} , \mathbf{P}_{bB} і \mathbf{P}_{bM} прикладені в точках А, В і М відповідно;

- сила опору маркера R_M , направлена паралельно осі симетрії енергетичного засобу і прикладена на відстані Δ_M ;
- сила опору сівалки $R_{кр}$, прикладена в точці М, яка розташована на відстані Δ від повздовжньої осі енергетичного засобу та відхилена від напрямку переміщення рушіїв на кут відведення δ_M .

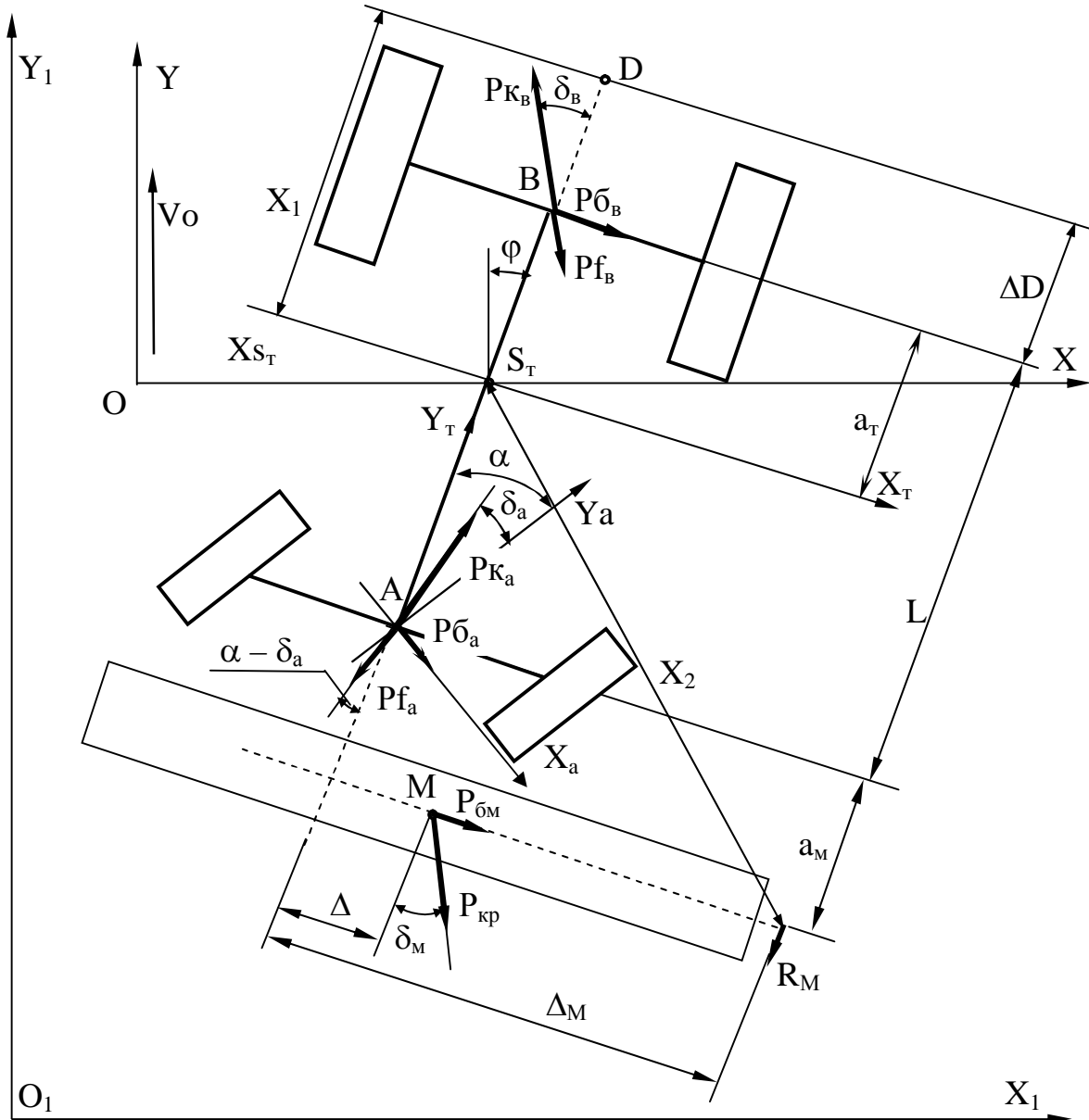


Рис. 1. Схема сил, які діють на посівний МТА у горизонтальній площині при реверсивному русі трактора

Складання диференційних рівнянь руху агрегату у горизонтальній площині виконуємо у формі Лагранжа другого роду [11]. Вони мають наступний вигляд:

$$\left. \begin{aligned} M_T \cdot \ddot{X}_{S_T} &= Q_{X_S} \\ J_{S_T} \cdot \ddot{\varphi} &= Q_{\varphi} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де M_T, J_{S_T} – маса агрегату та його момент інерції відносно осі S_TZ ;

Q_{X_s}, Q_φ – узагальнені сили.

За такої схеми агрегування узагальнена сила Q_{X_s} буде знаходитись з виразу

$$Q_{X_s} = (P_{K_A} - P_{f_A}) \cdot \alpha + (P_{f_A} - P_{K_A}) \cdot \delta_A + (P_{f_B} - P_{K_B}) \cdot \delta_B + P_{b_A} + P_{b_B} + P_{b_M} + P_{Kp} \cdot \delta_M \quad (2)$$

Вираз для визначення узагальненої сили Q_φ

$$Q_\varphi = -P_{K_A} \cdot (L - a_T) \cdot \sin(\alpha - \delta_A) + P_{f_A} \cdot (L - a_T) \cdot \sin(\alpha - \delta_A) - P_{b_A} \cdot (L - a_T) \cdot \cos \alpha - P_{K_B} \cdot a_T \cdot \sin \delta_B + P_{f_B} \cdot a_T \cdot \sin \delta_B + P_{b_B} \cdot a_T - P_{b_M} \cdot (L - a_T + a_M) - P_{Kp} \cdot [(L - a_T + a_M) \cdot \sin \delta_M - \Delta \cdot \cos \delta_M] + R_M \cdot \Delta_M \quad (3)$$

де $L, a_T, \Delta, \Delta_M, a_M$ – конструктивні параметри (див. рис. 1).

З урахуванням малого значення кутів отримуємо

$$Q_\varphi = -P_{K_A} \cdot (L - a_T) \cdot (\alpha - \delta_A) + P_{f_A} \cdot (L - a_T) \cdot (\alpha - \delta_A) - P_{b_A} \cdot (L - a_T) - P_{K_B} \cdot a_T \cdot \delta_B + P_{f_B} \cdot a_T \cdot \delta_B + P_{b_B} \cdot a_T - P_{b_M} \cdot (L - a_T + a_M) - P_{Kp} \cdot [(L - a_T + a_M) \cdot \delta_M - \Delta] + R_M \cdot \Delta_M \quad (4)$$

Для знаходження кутів відведення δ_A, δ_B і δ_M визначимо складові векторів швидкості точок А, В і М, які відповідають проекціям середин переднього і заднього мостів енергетичного засобу та точки «центру опору» просапного зчаряддя на горизонтальну площину:

$$\begin{aligned} \bar{V}_A &= \bar{V}_O + \bar{V}_{ST} + \bar{V}_{AST}; \\ \bar{V}_B &= \bar{V}_O + \bar{V}_{ST} + \bar{V}_{BST}; \\ \bar{V}_M &= \bar{V}_O + \bar{V}_{ST} + \bar{V}_{MST}. \end{aligned} \quad (5)$$

По модулю складові рівнянь (5) дорівнюють:

$$\begin{aligned} \bar{V}_O &= V_O; \quad \bar{V}_{Sm} = \dot{X}_{Sm}; \quad \bar{V}_{ASm} = (L - a_m) \cdot \dot{\varphi}; \quad \bar{V}_{BSm} = a_m \cdot \dot{\varphi}; \\ \bar{V}_{MSm} &= \dot{\varphi} \cdot \sqrt{\Delta^2 + (a_m + a_M)^2}. \end{aligned} \quad (6)$$

По модулю (відповідно до рис. 1) їх складові дорівнюють:

$$\begin{aligned} \bar{V}_O &= V_O; \quad \bar{V}_{S_T} = \dot{X}_{S_T}; \quad \bar{V}_{AS_T} = (L - a_T) \cdot \dot{\varphi}; \\ \bar{V}_{BS_T} &= a_T \cdot \dot{\varphi}; \quad \bar{V}_{MS_T} = \dot{\varphi} \cdot \sqrt{\Delta^2 + (L - a_T + a_M)^2}. \end{aligned} \quad (2)$$

Геометричні суми представлені на рис. 2, 3 і 4 відповідно. Тоді кути відведення передніх і задніх коліс трактора знайдемо з виразів:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \delta_a &\approx \delta_a = V_{XA} / V_{YA}, \\ \operatorname{tg} \delta_b &\approx \delta_b = V_{XB} / V_{YB}. \end{aligned}$$

де V_{XA}, V_{YA} – проекції вектора абсолютної швидкості т.А (\bar{V}_A) на осі АХа і АYa;

V_{XB}, V_{YB} – проекції вектора абсолютної швидкості т.В (\bar{V}_B) на осі ВХт і ВYт.

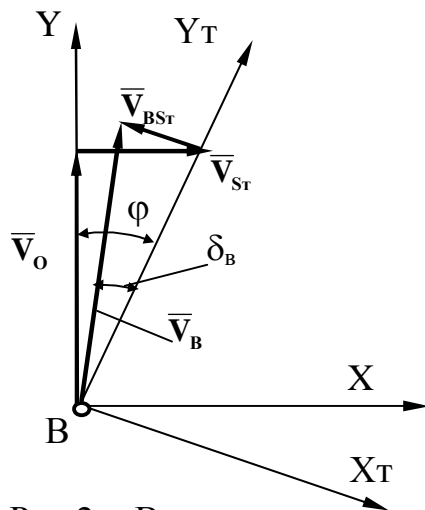


Рис.2. Векторна сума лінійної швидкості середини переднього мосту трактора (т. В, рис.1)

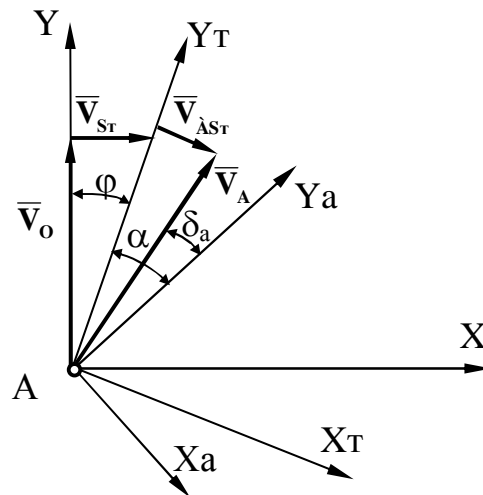


Рис.3. Векторна сума лінійної швидкості середини заднього мосту трактора (т. А, рис.1)

Кут відведення передніх рушіїв трактора знайдемо за допомогою проєкцій вектору абсолютної швидкості середини заднього мосту т.В (V_B) на осі BX_T і BY_T (див. рис.2). Шукані проєкції дорівнюють:

$$\begin{cases} V_{BX} = \dot{X}_{S_T} - V_O \cdot \varphi + a_T \cdot \dot{\varphi}; \\ V_{BY} = V_O + \dot{X}_{S_T} \cdot \varphi \approx V_O. \end{cases}$$

Відповідно до розрахунків кут відведення т. В дорівнює:

$$\text{tg} \delta_B \approx \delta_B = \frac{V_{BX}}{V_{BY}} = \varphi - \frac{a_T \cdot \dot{\varphi} + \dot{X}_{S_T}}{V_O}$$

У відповідності до рис. 3, аналітичних залежностей (2) та мализни кутів α , φ , δ_A маємо:

$$\begin{cases} V_{XA} = \dot{X}_{S_T} - V_O \cdot (\varphi + \alpha) - (L - a_T) \cdot \dot{\varphi}; \\ V_{YA} = V_O + \dot{X}_{S_T} \cdot (\varphi + \alpha) + (L - a_T) \cdot \dot{\varphi} \cdot \alpha \approx V_O. \end{cases} \quad (3)$$

Оскільки добуток малих величин дає ще менший результат, то двома останніми складовими другого рівняння (3) можна знехтувати. Тобто можна вважати, що $V_{YA} = V_O$. З урахуванням напрямку відкладання кута δ_A маємо:

$$\text{tg} \delta_A \approx \delta_A = \frac{V_{XA}}{V_{YA}} = \varphi + \alpha + \frac{(L - a_T) \cdot \dot{\varphi} - \dot{X}_{S_T}}{V_O}$$

Знаходимо кут відведення δ_M точки «центру опору» сівалки М (рис. 4).

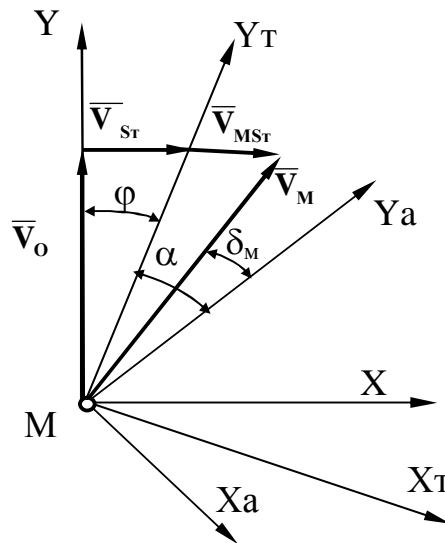


Рис.4. Векторна сума лінійної швидкості точки «центру опору» сівалки (т. М, рис.4)

Проекції вектора абсолютної швидкості т. М (\bar{V}_M) на осі MX_T і MY_T дорівнюють:

$$\begin{cases} V_{MX} = \dot{X}_{S_T} - V_o \cdot \varphi - \dot{\varphi} \cdot \sqrt{\Delta^2 + (L - a_T + a_M)^2}; \\ V_{MY} = V_o + \dot{X}_{S_T} \cdot \varphi \approx V_o. \end{cases}$$

Оскільки добуток малих величин дає ще менший результат, то останнім складовим другого рівняння можна знехтувати. Тобто можна вважати, що $V_{YM} = V_o$. Враховуючи мализну кутів після перетворень отримуємо:

$$tg \delta_M \approx \delta_M = \varphi + \frac{\dot{\varphi} \cdot \sqrt{\Delta^2 + (L - a_T + a_M)^2} - \dot{X}_{S_T}}{V_o}$$

Враховуючи напрямки кутів відведення δ_A , δ_B та δ_M можемо записати:

$$\begin{aligned} \delta_A &= \varphi + \alpha + \frac{(L - a_T) \cdot \dot{\varphi} - \dot{X}_{S_T}}{V_o}; & \delta_B &= \varphi - \frac{a_T \cdot \dot{\varphi} + \dot{X}_{S_T}}{V_o}; \\ \delta_M &= \varphi + \frac{\dot{\varphi} \cdot \sqrt{\Delta^2 + (L - a_T + a_M)^2} - \dot{X}_{S_T}}{V_o} \end{aligned} \tag{4}$$

Знайшовши кути відведення, маємо можливість виразити бічні сили R_{B_A} , R_{B_B} та R_{B_M} :

$$\begin{aligned}
 P\bar{b}_A &= k_A \cdot \left[\varphi + \alpha + \frac{(L - a_T) \cdot \dot{\varphi} - \dot{X}_{ST}}{V_o} \right]; \\
 P\bar{b}_B &= k_B \cdot \left[\varphi - \frac{a_T \cdot \dot{\varphi} + \dot{X}_{ST}}{V_o} \right]; \\
 P\bar{b}_M &= k_M \cdot \left[\varphi + \frac{\dot{\varphi} \cdot \sqrt{\Delta^2 + (L - a_T + a_M)^2} - \dot{X}_{ST}}{V_o} \right]
 \end{aligned} \tag{5}$$

Підставляючи, з урахуванням (4) і (5), значення узагальнених сил (2) і (3) в систему рівнянь (1), отримаємо наступні диференційні рівняння руху МТА у горизонтальній площині проєкції:

$$\begin{cases}
 A_{11} \cdot \ddot{X}_{ST} + A_{12} \cdot \dot{X}_{ST} + A_{13} \cdot \dot{\varphi} + A_{14} \cdot \varphi = f_{11} \cdot \alpha; \\
 A_{21} \cdot \ddot{\varphi} + A_{22} \cdot \dot{\varphi} + A_{23} \cdot \varphi + A_{24} \cdot \dot{X}_{ST} = f_{21} \cdot \alpha + f_{22} + f_{23}.
 \end{cases} \tag{6}$$

де $A_{11} = M_T$;

$$A_{12} = (k_A + k_B + k_M - R_M) / V_o ;$$

$$A_{13} = \left[-(Pf_A - P\kappa_A + k_A) \cdot (L - a_T) + (Pf_B - P\kappa_B + k_B) \cdot a_T - (P_{kp} + k_M) \cdot \sqrt{\Delta^2 + (L - a_T + a_M)^2} \right] / V_o ;$$

$$A_{14} = R_M - k_A - k_B - k_M ;$$

$$f_{11} = k_A ;$$

$$A_{21} = Js_T ;$$

$$A_{22} = \left[(Pf_A - P\kappa_A + k_A) \cdot (L - a_T)^2 + (Pf_B - P\kappa_B + k_B) \cdot a_T^2 + (k_M + P_{kp}) \cdot (L - a_T + a_M) \cdot \sqrt{\Delta^2 + (L - a_T + a_M)^2} \right] / V_o ;$$

$$A_{23} = -(Pf_A - P\kappa_A + k_A) \cdot (L - a_T) - (P\kappa_B - Pf_B - k_B) \cdot a_T - (k_M + P_{kp}) \cdot (L - a_T + a_M)$$

$$A_{24} = -A_{23} / V_o ;$$

$$f_{21} = -k_A \cdot (L - a_T) ;$$

$$f_{22} = P_{kp} \cdot \Delta ;$$

$$f_{23} = R_M \cdot \Delta_M .$$

Для спрощення рішення системи диференційних рівнянь аналогічних до (6), як правило, застосовують операційний метод або перетворення Лапласа. При символній формі запису диференційних рівнянь операційний метод дозволяє перейти від диференційних рівнянь до алгебраїчних шляхом формальної операції над символом $p \rightarrow d/dt$, де t – незалежна змінна. Операцію диференціювання замінюють символом p , тоді $dx/dt = p \cdot x$; $d^2x/dt^2 = p^2 \cdot x$. [4, 13].

В нашому випадку вхідними змінними в системі рівнянь (6) виступають керуючий вплив у вигляді кута повороту керованих коліс

трактора α та одиничний вплив параметрів, які входять до коефіцієнтів f_{22} та f_{23} .

Вихідними параметрами функціонування дослідної динамічної системи є поперечне зміщення центру мас X_{S_T} та курсовий кут φ трактора.

Після перетворень математична модель дослідного МТА в операторній формі запису матиме наступний вид:

$$\begin{cases} K_{11} \cdot X_{S_T}(p) + K_{12} \cdot \varphi(p) = F_{11} \cdot \alpha(p) + F_{12} \cdot 1(p) + F_{13} \cdot 1(p). \\ K_{21} \cdot X_{S_T}(p) + K_{22} \cdot \varphi(p) = F_{21} \cdot \alpha(p) + F_{22} \cdot 1(p) + F_{23} \cdot 1(p). \end{cases} \quad (7)$$

де $1(p)$ – одинична ступінчаста зміна вхідного параметру;

$$K_{11} = A_{11} \cdot p^2 + A_{12} \cdot p;$$

$$K_{12} = A_{13} \cdot p + A_{14};$$

$$F_{11} = f_{11};$$

$$F_{12} = 0; F_{13} = 0;$$

$$K_{21} = A_{24} \cdot p;$$

$$K_{22} = A_{21} \cdot p^2 + A_{22} \cdot p + A_{23};$$

$$F_{21} = f_{21};$$

$$F_{22} = f_{22};$$

$$F_{23} = f_{23}$$

Перевірку отриманої математичної моделі проводили шляхом порівняння теоретичних та експериментальних амплітудних частотних характеристик (АЧХ) коливань курсового кута трактора φ (вихідної величини) при відпрацюванні посівним агрегатом вхідного керуючого впливу – кута повороту керованих коліс трактору α (рис. 5).

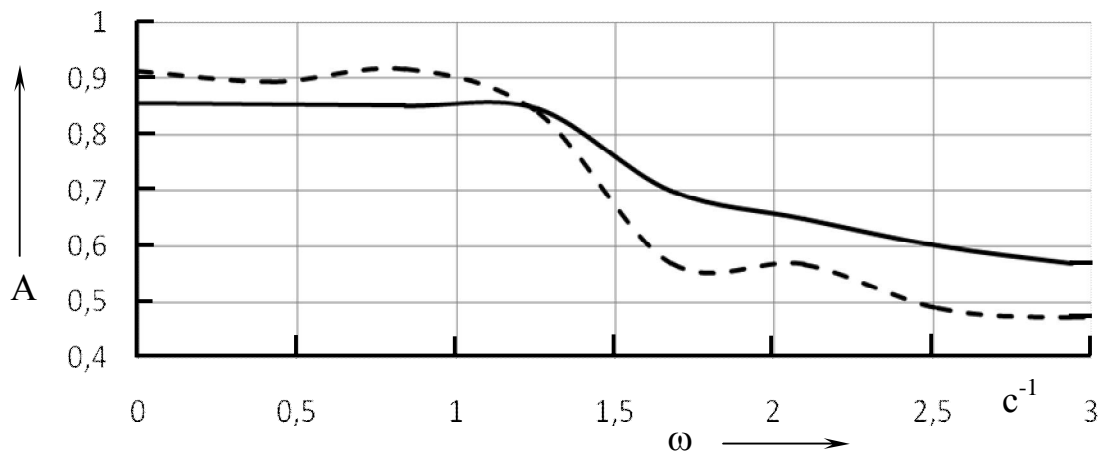


Рис. 5. Теоретична (—) та експериментальна (- - -) АЧХ відпрацювання кута повороту керованих коліс

Після зіставлення теоретичної та експериментальної АЧХ встановлено [4, 13], що максимальна різниця між теоретичними й практичними значеннями функції не перевищує 5%. Отримане збігання експериментальних та теоретичних даних вказує на адекватність розробленої математичної моделі, що дає право використовувати її для подальших теоретичних досліджень з метою обґрунтування схеми та параметрів асиметричного посівного агрегату на базі орно-просапного трактора.

Висновок. Отриманий збіг експериментальних та теоретичних даних вказує на адекватність розробленої математичної моделі, що дає право використовувати її для подальших теоретичних досліджень з метою обґрунтування схеми та параметрів асиметричного просапного агрегату на базі трактора ХТЗ-160 при його реверсивному налаштуванні.

Література

1. Чорна Т.С. Зчіпний пристрій енергетичного засобу / Т.С. Чорна // Праці / Таврійський державний агротехнологічний університет – Вип. 8 Т.1 – Мелітополь: ТДАТУ, 2008. – С. 144 – 147.

2. Чорна Т.С. Частотно-дисперсійний показник оцінки непрямолінійності рядків просапних культур / Т.С. Чорна, В.Т. Надикто, А.І. Панченко // Праці ТДАТА. – Вип. 36, – Мелітополь: ТДАТА, 2007. – С. 144 – 147.

3. Чорна Т.С. Використання комп'ютерної техніки у навчальному процесі / Т.С. Чорна, В.Т. Надикто // Наука і методика. – К., №11, 2007. – С. 43 – 46.

4. Лурье А.Б. Широкозахватные почвообрабатывающие машины. / А.Б. Лурье, А.И. Любимов – Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1981. – 270 с.

5. Гячев Л.В. Динамика машинно-тракторных и автомобильных агрегатов. / Л.В. Гячев – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ун-та, 1976. – 192 с.

6. Чудаков Д.А. Основы теории навесных с.-х. машин. / Д.А. Чудаков – М.: Колос, 1954. – 158 с., ил.

7. Жиган В.Й. Разработка и внедрение широкозахватных агрегатов на базе трактора класса 3 для возделывания пропашных культур в хозяйствах Запорожской области: Экспресс-информация, сер. Тракторы и двигатели. / В.Й. Жиган, И.В. Баев – Вып. 1 – М.: ЦНИИТЭИ, 1985. – 21 с.

8. Пожидаєв С.П., Шкарівський Г.В. Про деякі шляхи підвищення точності руху просапного агрегату з шарнірно-з'єднаним трактором / С.П. Пожидаєв, Г.В. Шкарівський // Механізація та електри-

фікація сільського господарства. – Вип. 75, – К.: УкрНДІ МЕСГ, 1992. – С. 91 – 96.

9. Нові мобільні енергетичні засоби України. Теоретичні основи використання в землеробстві // Навч. посібник / В.Т. Надикто, М.Л. Крижачківський, В.М. Кюрчев, С.Л. Абдула. – 2006. – 337 с., іл.

10. Надикто В.Т. Дослідження просапного МТА на базі трактора ХТЗ-120 / В.Т. Надикто, В.З. Мухамедшин // Праці ТДАТА. – Вип. 14, – Мелітополь: ТДАТА, 2004. – С. 65 – 71.

12. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. / Г.М. Кутьков – М.: КолосС, 2004. – 504 с.: ил.

13. Мельников А.А. Теория автоматического управления техническими объектами автомобилей и тракторов: Учеб пособие для студ. высш. учеб. заведений / А.А. Мельников. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 280 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АСИММЕТРИЧЕСКОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ПОСЕВА ПРОПАШНЫХ КУЛЬТУР

Т.С. Черная

Аннотация – разработана и проверена на адекватность математическая модель движения асимметрического агрегата для посева пропашных культур в горизонтальной плоскости.

MATHEMATICAL MODEL OF ASYMMETRIC OF THE CULTIVATED AGGREGATE

T.Chyorna

Summary

Developed and tested on adequacy mathematical model of asymmetric cultivated aggregate motion in a horizontal plane.