

дизельное. Проведена оценка растительного масла и биодизеля как альтернативы нефтяному дизельному топливу.

Диметиловый эфир, растительное масло, биодизель, метиловый эфир, смесевые топлива.

Grounded the necessity of search of fuels from refurbishable sources, able to replace oil diesel. The estimation of vegetable butter and biodiesel as alternatives is conducted to the oil fuel-oil.

Methoxymethane, vegetable butter, biodiesel, methyl ether, blenderized fuels.

УДК 631.315:629.783

ОБГРУНТУВАННЯ СПОСОБУ НАВІГАЦІЇ МТА

Л.В. Аніскевич, доктор технічних наук
Д.Г. Войтюк, кандидат технічних наук,
член-кореспондент НААН України
В.І. Кравчук, доктор технічних наук,
член-кореспондент НААН України

Представлено принципи побудови інформаційно-управляючого комплексу МТА. Визначено метод проходження заданої траєкторії руху машини в полі і обґрунтовані умови дотримання необхідних значень кута курсу та швидкості руху на заданому відрізку траєкторії.

Польова машина, навігація, модель руху, траєкторне управління.

Постановка проблеми. В зв'язку з розвитком нових систем землеробства та впровадженням сучасних технологій природокористування все більшого застосування набувають системи роботизованого виконання польових технологічних завдань таких, як збір та реєстрація місцевизначених польових даних, використання машинно-тракторних агрегатів на операціях, де задіяні шкідливі для людини речовини, наприклад, пестициди, концентровані хімічні сполуки тощо.

Аналіз останніх досліджень. У даний час у світі набувають застосування засоби автоматизованого збору польових даних про стан ґрунту та фітоценозів, що дозволяє запроваджувати новітні

технології управління біологічним потенціалом поля [1], зменшувати витрати робочого часу на проведення операцій моніторингу стану екосистем, підвищувати просторову точність виконання польових завдань і забезпечувати безперервність процесів моніторингу природних ресурсів. Крім того, використання таких систем (часто – безпілотних) дає можливість знизити собівартість виконання польових механізованих операцій шляхом економії витрат на оплату праці операторів. В такому випадку сільськогосподарські машини набувають ознак безпілотних роботизованих систем точної навігації.

Результати досліджень. Для об'єктів точної навігації програмний процес (бажана траєкторія руху) задається, як правило, у явному вигляді. Якщо програмний процес заданий в такому вигляді, то можна розглядати задачу позиційного управління, що полягає в реалізації програмного руху. Щоб здійснити цю постановку задачі, необхідно знати відхилення реального руху від програмного, що у свою чергу вимагає наявності вимірювальних пристроїв, за допомогою яких можна одержати первинну інформацію про реальний рух. Обробивши цю інформацію, можна оцінити поточні відхилення і побудувати алгоритми формування сигналів для управління рухом по заданій траєкторії.

Інформаційний процес, завдяки якому відбувається управління, займає особливо важливе місце при використанні безпілотних МТА.

Розвиток безпілотних машинних агрегатів для виконання робіт в рослинництві набуває в світі все більшої уваги. При цьому виникає необхідність вирішення завдань, пов'язаних з визначенням кінематичних параметрів руху об'єктів, виконанням вимог по точності і надійності отримання інформації про координати, швидкість та просторову орієнтацію рухомих об'єктів.

Для сучасних МТА вимоги до методів і засобів навігації значно зросли. Вирішення навігаційних задач необхідно здійснювати, як правило, за допомогою автоматичних навігаційних систем які функціонують на підставі спеціальної обробки навігаційної інформації (НІ).

Методи навігації класифікуються по ряду ознак [2, 3]. Відповідно до способу визначення координат місцезнаходження, виділяють наступні методи навігації:

- метод числення пройденого шляху;
- позиційний метод;
- оглядово-порівняльний метод.

Методи числення шляху засновані на вимірюванні складових вектора прискорення або швидкості руху об'єкту і інтегрування в часі цих складових (прискорення інтегруються двічі) для отримання координат місцезнаходження.

Позиційні методи навігації засновані на вимірюванні фізичних величин, що дають лінію або поверхню положення об'єкту. Для визначення двох або трьох координат місцезнаходження об'єкту потрібно мати відповідно дві або три взаємно пересічні поверхні положення.

Оглядово-порівняльні методи засновані на огляді навколишньої місцевості і порівнянні її зображення з системою орієнтирів, закладених в пам'яті.

Вибір того або іншого методу або сукупності методів навігації для використання на конкретному об'єкті визначається:

- характером середовища, в якому рухається об'єкт (вода, повітря, космічне середовище);
- необхідною точністю вимірювання навігаційних параметрів;
- діапазоном і характером зміни швидкостей, відстаней, прискорень;
- рівнем автономності і надійності вимірювання навігаційних параметрів тощо.

При виборі методу навігації для МТА враховують способи вимірювання навігаційних параметрів об'єкту щодо обраної системи координат, принципи роботи і види орієнтації датчиків, особливості моделювання систем координат, методи обліку гравітаційного прискорення і початкових параметрів руху.

Відповідно до цього до складу бортового навігаційного комплексу можуть входити наступні функціональні елементи:

- система акселерометрів, що вимірюють складові вектора прискорення руху центру мас об'єкту під дією активних сил;
- датчики кутової орієнтації, що моделюють навігаційну систему координат або що вимірюють кутову швидкість обертання;
- датчики кута курсу машини;
- датчики шляхової швидкості;
- початкові умови функціонування системи, у тому числі і дані про гравітаційне поле;
- процесорні пристрої, призначені для обчислення навігаційних алгоритмів;
- системи відображення вихідної інформації або видачі вихідних сигналів різним споживачам.

Для реалізації управління, налаштування і корекції погрішностей руху польового об'єкту, а також виконання технологічних завдань необхідно мати наступний набір елементів:

- кероване самохідне шасі з двигуном та трансмісією (МТА);
- систему управління рухом МТА в режимах автоматичного та дистанційного керування;

- систему вимірювання місцевизначених параметрів (в межах сільськогосподарського поля) – технологічний модуль;
- систему управління режимами роботи технологічного модуля;
- систему технічного зору;
- систему штучного інтелекту;
- бортову обчислювальну систему;
- систему інформаційних каналів обміну інформацією між бортовою та диспетчерською підсистемами;
- систему енергопостачання.

Структурна схема роботизованої системи польової машини представлена на рис. 1.

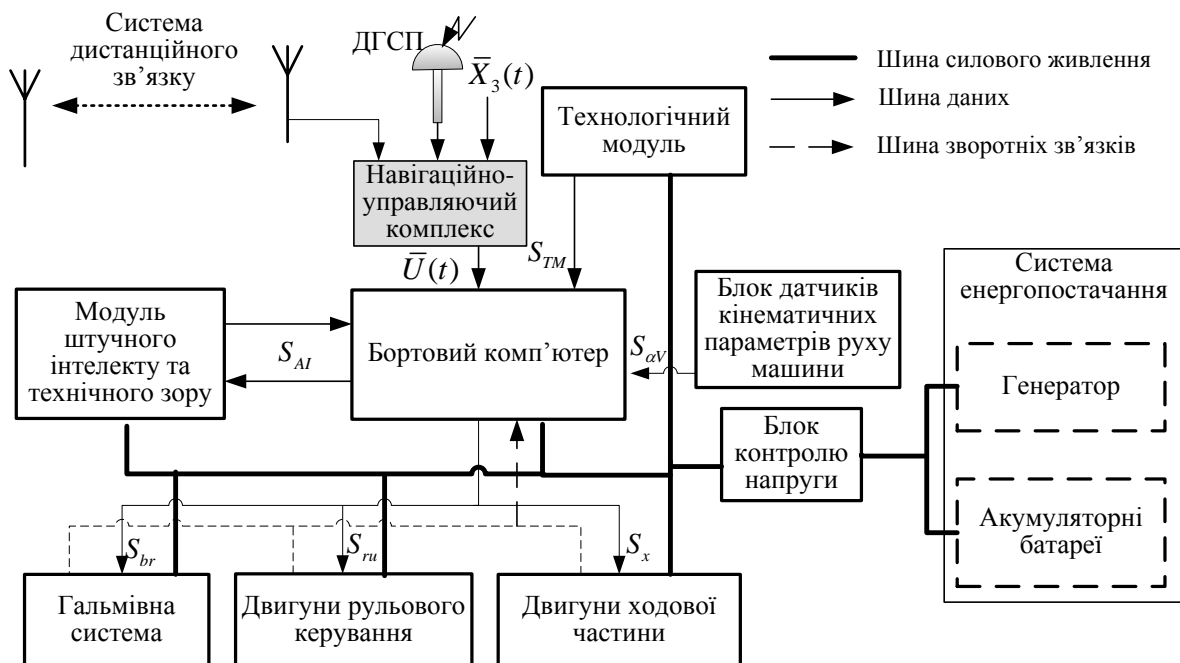


Рис. 1. Інформаційно-управляючий комплекс польової машини.

Осередок системи складає бортовий комп'ютер з яким з'єднані навігаційно-управляючий модуль та підсистеми ходової частини і рульового керування, модуль штучного інтелекту та технічного зору, технологічний модуль збору і первинної обробки місцевизначеної інформації, а також система енергопостачання. Телеметрична інформація передається за допомогою системи дистанційного зв'язку.

Кероване самохідне шасі (підсистеми ходової частини і рульового керування) повинно забезпечити переміщення МТА по полю із заданими характеристиками просторової точності ведення по технологічній траєкторії в межах допустимих показників прохідності, швидкості та запасу автономного ходу. Основним

об'єктом уваги, у даному випадку, є навігаційно-управляючий комплекс (НУК).

До складу бортового НУК польової інформаційної машини включено (рис. 2) навігаційний комплекс та систему автоматичного управління (САУ) рухом.

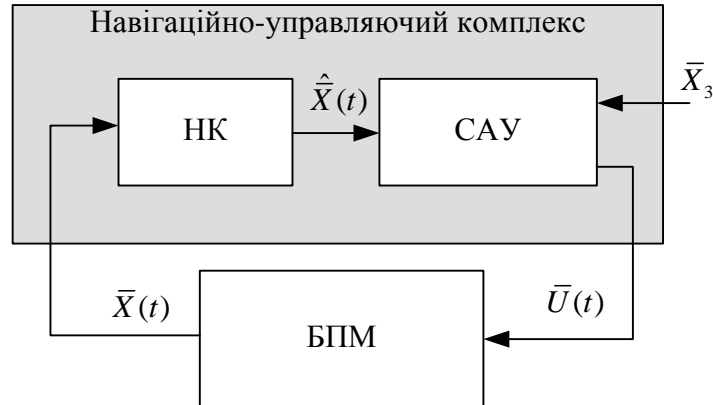


Рис. 2. Блок-схема бортового навігаційно-управляючого комплексу.

НУК призначений для отримання і оцінки поточної інформації про кінематичні параметри руху $\bar{X}(t)$ МТА, а САУ – для формування управляючих дій $\bar{U}(t) = (U_k, U_v)^T$, що забезпечують спрямування об'єкту по заданій траєкторії \bar{X}_3 .

Навігаційний комплекс, що необхідний для виконання операцій навігації МТА, як правило є інтегрованим. Інтеграція навігаційних підсистем необхідна для забезпечення якісної роботи обладнання змінних норм внесення технологічних матеріалів на підвищених робочих швидкостях широкозахватних МТА і покращення показників надійності функціонування машин в умовах порушення роботи навігаційних підсистем.

До складу НУК, як правило, можуть входити супутникова глобальна система позиціонування ГСП, а також інерціальна навігаційна (ІН) та курсо-швидкісна навігаційна (КШН) системи. Ці системи відносяться до автономних пристроїв, які розміщуються безпосередньо на рухомому об'єкті. Оскільки поточна робота автономних навігаційних пристроїв не залежить від зовнішніх джерел інформації, об'єкт вільний в своєму русі. Зовнішні перешкоди можуть впливати, як правило, тільки на входи датчиків первинної інформації.

Аналіз функціонування інтегрованого навігаційного комплексу зводиться до пошуку найкращих оцінок навігаційних параметрів МТА за умов наявності надлишкової інформації при дії на комплекс систематичних, випадкових та шумових складових збурень.

Приймаємо, що при роботі МТА формується масив ознак нормальної роботи навігаційної системи, а також ознаки відповідності рівнянь спостережень за кінематичними режимами функціонування системи. Ці ознаки формуються у відповідності із заданою циклограмою поведінки системи. Признаки нормальної роботи враховуються при комплексному обробітку навігаційної інформації. Застосування циклограми поведінки системи дає можливість враховувати відміни в швидкості відновлення вихідної навігаційної інформації в різних підсистемах і в системі в цілому в залежності від частоти оновлення інформації.

Основною задачею автоматичної навігації МТА є забезпечення необхідною шляховою інформацією системи автоматичного управління рухом з визначенням координат місцезнаходження в полі і спрямовування МТА по заданому маршруту. Для вирішення цієї задачі необхідно використовувати бортову навігаційну систему і обчислювальну систему для розрахунку керуючих дій виконавчих механізмів.

Для МТА керування рухом в автоматичному режимі відбувається у відповідності до заданої траєкторії - маршруту. Маршрут можна представити таким, що складається з проміжних пунктів P_0, P_1, \dots, P_N . При цьому вважаємо, що координати проміжних пунктів маршруту $(X_j, Z_j, j = 0, \dots, N)$, а також швидкості руху $(V_{T_j}, j = 1, 2, \dots, N)$ між окремими пунктами є відомими і заданими величинами. Помилки реалізації маршруту не можуть перевищувати заданих величин. Повинна бути передбачена можливість зупинки МТА на заданий інтервал часу для виконання технологічної операції або налаштувань.

Схема руху МТА представлена на рис. 3. Прийнято, що керування рухом польової інформаційної машини-реєстратора відбувається у відповідності до маршрутного курсо-швидкісного методу проходження заданої траєкторії.

При вирішенні поставлених задач розглядається кероване шасі, яке повинно забезпечити повну керованість і адекватність зміни положення керуючих коліс до курсу руху. В зв'язку з цим, не розглядаються питання ковзання і пробуксовки коліс машини, а також вплив мас і моментів інерції МТА на траєкторію руху. Основна увага приділена таким показникам, як межі кута постановки керуючого колеса шасі, швидкість і закон функціонування сервоприводів механізмів управління керма та ходової частини і ряду інших показників, що впливають на кінематичні режими руху машини.

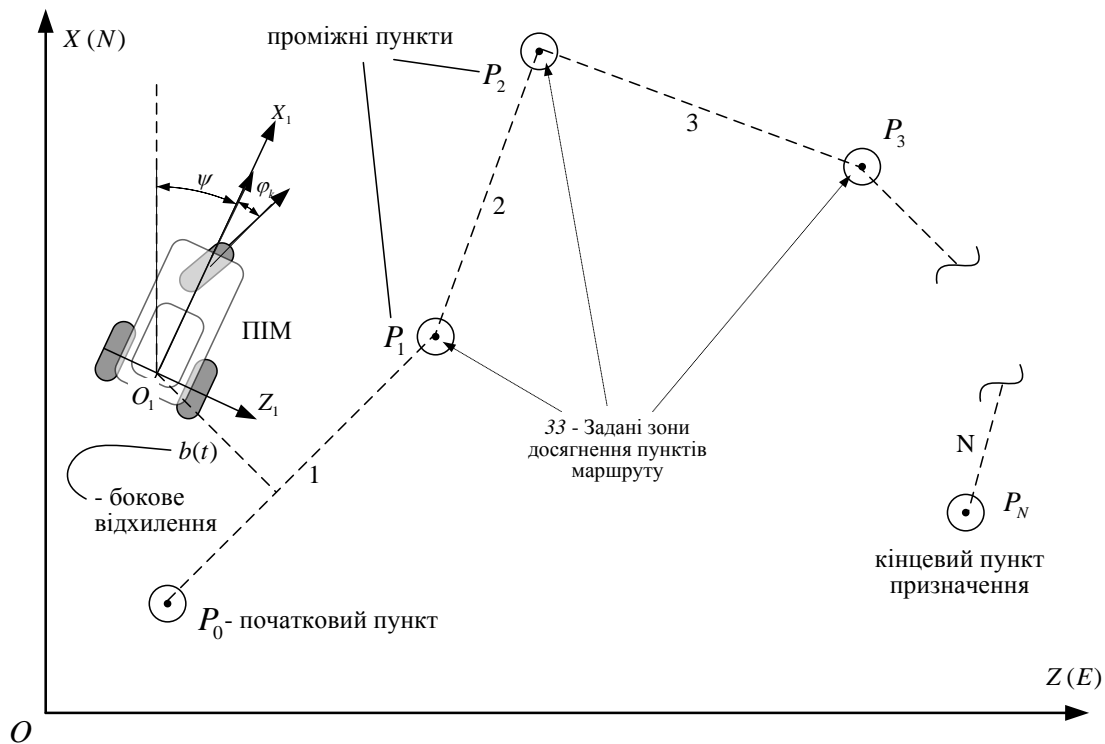


Рис. 3. Схема руху безпілотної польової інформаційної машини.

Траєкторія утворена відрізками прямих, що з'єднують проміжні пункти P_0, P_1, \dots, P_N з координатами $x_j, z_j, j = 1, \dots, N$ заданої траєкторії руху екіпажу із заданими значеннями швидкостей проходження екіпажем цих проміжних пунктів ($V_{Tj}, j = 1, \dots, N$). Початковий пункт маршруту (x_0, z_0) МТА знаходиться в безпосередній близькості від координат стартової позиції машини, а кінцевий пункт маршруту знаходиться в точці з координатами (x_N, z_N) . Вважаємо, що вісь X системи координат OXZ направлена на північ, а вісь Z - на схід.

Сутність методу керування рухом МТА, у даному випадку, складається в дотриманні необхідного значення кута курсу, що відповідає напрямку (азимуту) на черговий проміжний пункт P_0, P_1, \dots, P_N маршруту, та стабілізації заданої швидкості руху на заданому відрізьку траєкторії. Номер чергового проміжного пункту маршруту збільшується на одиницю у випадку попадання екіпажу в задану зону ЗЗ (рис. 3). Величина заданої зони довкола проміжного пункту маршруту (ППМ) визначається величиною припустимої просторової помилки (зоною нечутливості) попадання екіпажу до центру ППМ.

Азимуті послідовних теоретичних напрямів руху екіпажу позначені на схемі номерами 1, 2, ..., N.

Математична модель руху МТА представлена наступною системою диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} V' = U_V; \\ \varphi_k' = U_K; \\ \psi' = \frac{V(t)}{r} \operatorname{tg} \varphi_k; \\ x' = V(t) \operatorname{Cos} \psi; \\ z' = V(t) \operatorname{Sin} \psi, \end{cases} \quad (1)$$

де $V(t)$ - поточна швидкість руху центру O_1 задньої вісі машини (наприклад, місця розташування приймальної антени датчика координат) відносно поверхні землі;

$$|\varphi_k| \leq \varphi_{\max};$$

r - колісна база машини;

$x(t), z(t)$ - горизонтальні координати т. O_1 в координатному базисі OXZ ;

$\psi(t)$ - курсовий кут вектора швидкості точки O_1 (кут між напрямленням на Північ і вектором швидкості, що відраховується за годинниковою стрілкою);

U_V, U_K - керуючі параметри;

$x'(t), z'(t)$ - складові швидкості руху т. O_1 вздовж вісі X та Z відповідно.

Система рівнянь (1) відповідає рухові машини в горизонтальній площині поля без ковзання. У відповідності до обраного методу керування рухом польового екіпажу, маємо два канали керування: канал швидкості та канал курсу. Для кожного з цих каналів необхідно визначити керуючі параметри U_K та U_V . Спочатку розглянемо курсо-швидкісний спосіб управління рухом МТА.

Для каналу керування курсом руху МТА маємо:

$$U_K = \begin{cases} 0, & \text{при } |\delta_K| < \varepsilon_K; \\ \omega_K \cdot \operatorname{SIGN}(\delta_K), & \text{при } |\delta_K| \geq \varepsilon_K, \end{cases} \quad (2)$$

де ε_K - зона нечутливості;

$$\delta_K = \varphi_{K_n} - \varphi_K;$$

φ_{K_n} - необхідний кут постановки керуючих коліс машини;

φ_K - поточний кут постановки керуючих коліс машини;

$$\varphi_{K_n} = k_1[\psi_n - \psi(t)] + k_2[\psi_n' - \psi'(t)];$$

ψ_n - необхідний курс руху машини;

$\psi(t)$ - поточний курс руху машини;

ω_k - швидкість повороту керуючих коліс візка – визначається параметрами приводу механізму рульового керування;

k_1, k_2 - коефіцієнти закону управління в каналі керування курсом екіпажу.

Для j -ої ділянки траєкторії маємо:

$$\begin{aligned}\psi_{n_j} &= \operatorname{arctg} \frac{z_j - z(t)}{x_j - x(t)}, \quad j = 1, 2, \dots, N; \\ \psi'_{n_j} &= \frac{1}{1+c^2} \cdot \frac{(\Delta z \cdot x' - \Delta x \cdot z')}{\Delta x^2} \\ \Delta x &= x_j - x(t); \\ \Delta z &= z_j - z(t); \\ c &= \frac{\Delta z}{\Delta x}.\end{aligned}\tag{3}$$

Мінімальний радіус розвороту машини становить:

$$R_{\min} = \frac{r}{\operatorname{tg}(\varphi_{p \max})}.\tag{4}$$

Для каналу швидкості керуючий параметр визначається:

$$U_v = \begin{cases} 0, & \text{якщо } |\delta_v| < \varepsilon_v; \\ \omega_v \cdot \operatorname{SIGN}(\delta_v), & \text{якщо } |\delta_v| \geq \varepsilon_v; \end{cases}\tag{5}$$

де $\delta_v = V_{j_3} - V(t), j = 1, 2, \dots, N$;

V_{j_3} - задана швидкість руху екіпажу на j -му відрізку маршруту;

$V(t)$ - поточна швидкість руху екіпажу на j -му відрізку маршруту;

ε_v - зона нечутливості;

ω_v - задана частота обертання вихідного валу сервомотора ведучих коліс.

Необхідний кут постановки керуючих коліс $\varphi_{pn}(t)$ визначається за виразом:

$$\varphi_{pn}(t) = \begin{cases} \hat{\varphi}_{pn}(t), & \text{якщо } |\hat{\varphi}_{pn}(t)| < \varphi_{\max} \\ \varphi_{\max} \operatorname{SIGN}[\hat{\varphi}_{pn}(t)], & \text{якщо } |\hat{\varphi}_{pn}(t)| \geq \varphi_{\max} \end{cases}\tag{6}$$

де φ_{\max} - заданий максимальний кут повороту коліс;

$\hat{\varphi}_{pn}(t)$ - розрахункове значення кута повороту коліс.

Інформація про поточні значення кінематичних параметрів руху машини-реєстратора $x(t), z(t), V(t)$ надходить від навігаційного модуля супутникової ГСП. Вирази (1-6) складають математичну модель, що описує процес управління рухом польового роботизованого об'єкту.

Розглянутий курсо-швидкісний спосіб є досить простим для реалізації, проте при вимогах підвищеної координатної точності руху по заданій траєкторії може призвести до виникнення значних похибок.

Тому пропонується удосконалена комбінована процедура, що має два режими (рис. 4):

- режим відпрацьовування кута курсу;
- режим бокової стабілізації.

Перший режим використовується при виконанні умови:

$$\psi_{Tj}(t) - \psi(t) \geq \varepsilon_{\psi} \quad (7)$$

де $\psi_{Nj}(t)$ - необхідне значення курсового кута на j -ій ділянці маршруту;

ε_{ψ} - допустиме значення величини неузгодження по курсовому куту.

Необхідне значення курсового кута:

$$\psi_{Nj}(t) = \arctg \frac{\Delta Z_j(t)}{\Delta X_j(t)}; \quad (8)$$

де $\Delta X_j(t) = X_j - X(t)$;

$\Delta Z_j(t) = Z_j - Z(t), j = 1, 2, \dots, N$.

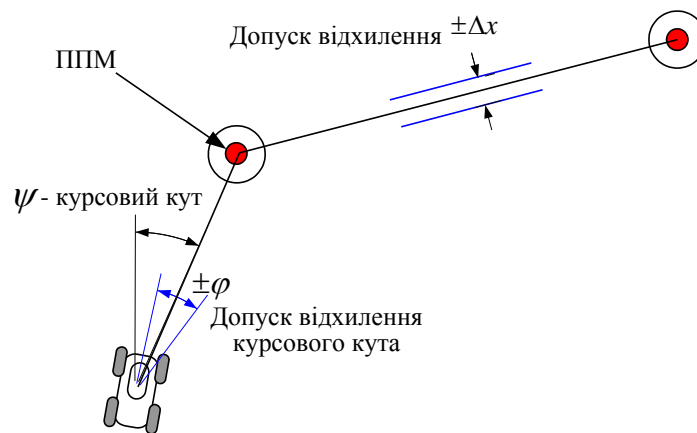


Рис. 4. Комбінована процедура руху МТА по заданій траєкторії.

Для першого режиму пропонується наступний алгоритм формування розрахункового значення кута повороту коліс $\hat{\phi}_{pn}(t)$:

$$\hat{\phi}_{pn}(t) = K_{11}[\psi_{Tj}(t) - \psi(t)] + K_{12}[\psi'_{Tj}(t) - \psi'(t)] \quad (9)$$

де $\psi'_{Tj}(t) = \frac{1}{1+c^2} \frac{\Delta Z_j(t)X'(t) - \Delta X_j(t)Z'(t)}{\Delta X_j^2(t)}$;

$c = \Delta Z_j(t) / \Delta X_j(t), j = 1, 2, \dots, N$

K_{11}, K_{12} - задані коефіцієнти.

Перехід на режим функціонування з боковою стабілізацією виконується при виконанні умови:

$$|\psi_{T_j}(t) - \psi(t)| < \varepsilon_\psi \quad (10)$$

Для режиму бокової стабілізації розрахунок $\hat{\phi}_{pn}(t)$ пропонується виконувати по наступній формулі:

$$\hat{\phi}_{pn}(t) = -K_{21}b_j(t) - K_{22}b'_j(t), \quad (11)$$

де $b_j(t)$ та $b'_j(t)$ - поточне лінійне бокове відхилення від маршруту на j -ій ділянці (позитивне значення – вправо) і швидкість його зміни;

K_{21} , K_{22} - задані коефіцієнти;

Для розрахунку бокового відхилення МТА від програмної траєкторії введемо наступну параметризацію $(X_i(S), Z_i(S))$ відрізка програмної траєкторії по довжині шляху S :

$$\begin{aligned} X_i(S) &= X_{j-1} + a_2 S; \\ Z_i(S) &= Z_{j-1} + a_4 S, \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} a_4 &= \frac{\delta Z}{\delta S}; \\ \text{де } a_2 &= \frac{\delta X}{\delta S}; \quad \delta S = \sqrt{\delta X^2 + \delta Z^2}; \\ \delta X &= X_j - X_{j-1}; \\ \delta Z &= Z_j - Z_{j-1}; \end{aligned}$$

Відстань $q(S)$ від точки поточного місцезнаходження МТА $\hat{X}(t), \hat{Z}(t)$ до точки $X_i(S), Z_i(S)$ на програмній траєкторії задовольняє формулі:

$$q(S) = \sqrt{[\hat{X}(t) - X_i(S)]^2 + [\hat{Z}(t) - Z_i(S)]^2}. \quad (13)$$

Надалі шукається значення координати S^* , яке відповідає мінімальній відстані $q(S)$ із наступної умови:

$$\frac{\partial q(S)}{\partial S} = 0 \quad (14)$$

Тоді значення координати S^* має такий вигляд:

$$S^* = \frac{a_2(\hat{X} - X_{j-1}) + a_4(\hat{Z} - Z_{j-1})}{a_2^2 + a_4^2}. \quad (15)$$

Бокове відхилення від програмної траєкторії задовольняє формулі:

$$b_j(t) = \hat{b}_j(t) \cdot \text{SIGN}(\delta X \cdot \Delta Z(t) - \delta Z \cdot \Delta X(t)), \quad (16)$$

$$\text{де } \hat{b}_j(t) = \sqrt{\Delta X^2(t) + \Delta Z^2(t)};$$

$$\Delta X(t) = \hat{X}(t) - X_{j-1} - a_2 S^*;$$

$$\Delta Z(t) = \hat{Z}(t) - Z_{j-1} - a_4 S^*.$$

Швидкість зміни бокового відхилення в часі визначається формулою:

$$b'_j(t) = \frac{\widehat{V}(t)}{b_j(t)} \{ \Delta X(t) [\text{Cos}\widehat{\psi}(t) - a_2 d] + \Delta Z(t) [\text{Sin}\widehat{\psi}(t) - a_4 d] \}, \quad (17)$$

де $d = \frac{a_2 \text{Cos}\widehat{\psi}(t) + a_4 \text{Sin}\widehat{\psi}(t)}{a_2^2 + a_4^2}$.

Переключення на реалізацію наступної ділянки маршруту виконується при умові досягнення заданої зони чергового проміжного пункту маршруту.

$$\Delta R_j(t) < \varepsilon_R, j = 1, 2, \dots, N - 1, \quad (18)$$

де $\Delta R_j(t) = \sqrt{[X(t) - X_j]^2 + [Z(t) - Z_j]^2}$;

ε_R - заданий радіус зони досягнення чергового проміжного пункту маршруту.

Наведені моделі дозволяють провести імітаційне моделювання процесу руху МТА по заданій траєкторії в залежності від способу управління. Імітувалися 3 режими руху МТА по заданій траєкторії (рис. 5): режим дотримання заданого курсу (а), режим корекції бокового відхилення (б) і комбінований режим (в). Для організації імітаційного моделювання було складене завдання з проходження 10 проміжних пунктів маршруту (ППМ), які розміщені в довільних місцях на ділянці поля площею близько 100×220 м. В першому варіанті робоча швидкість проходження ППМ склала 5 м/с. Радіус заданої зони проходження пункту маршруту (зона нечутливості) – $R_3=1$ м.

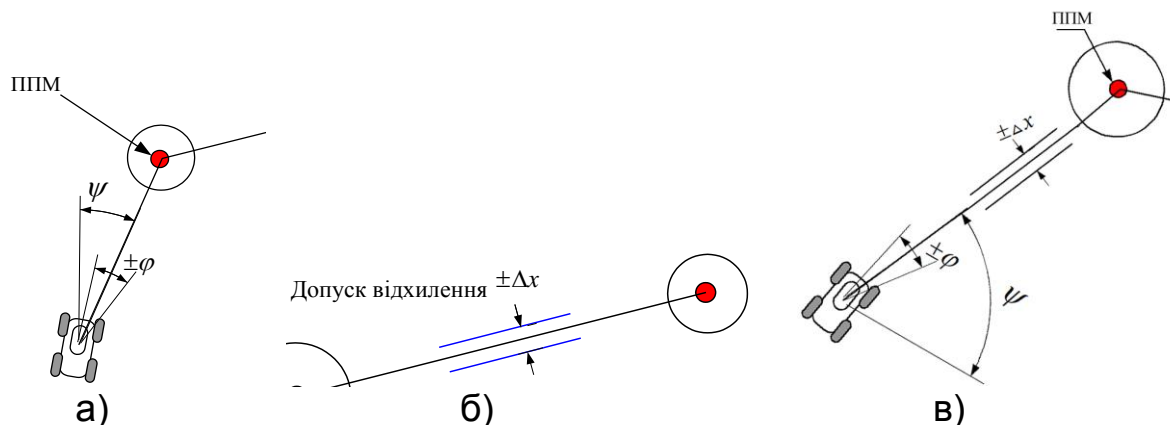


Рис. 5. Режими руху по заданій траєкторії: а) режим дотримання заданого курсу, б) режим корекції бокового відхилення, в) комбінований режим.

Результати імітаційного моделювання процесу руху БПМ по заданих ППМ представлені на рис. 6-8.

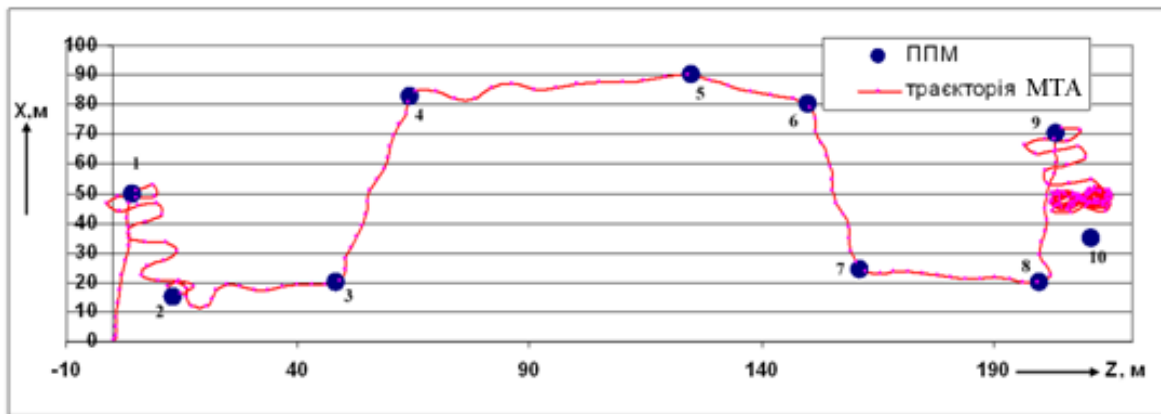


Рис. 6. Результати обчислення траєкторії руху МТА при проходженні ППМ у режимі дотримання заданого курсу (варіант 1).

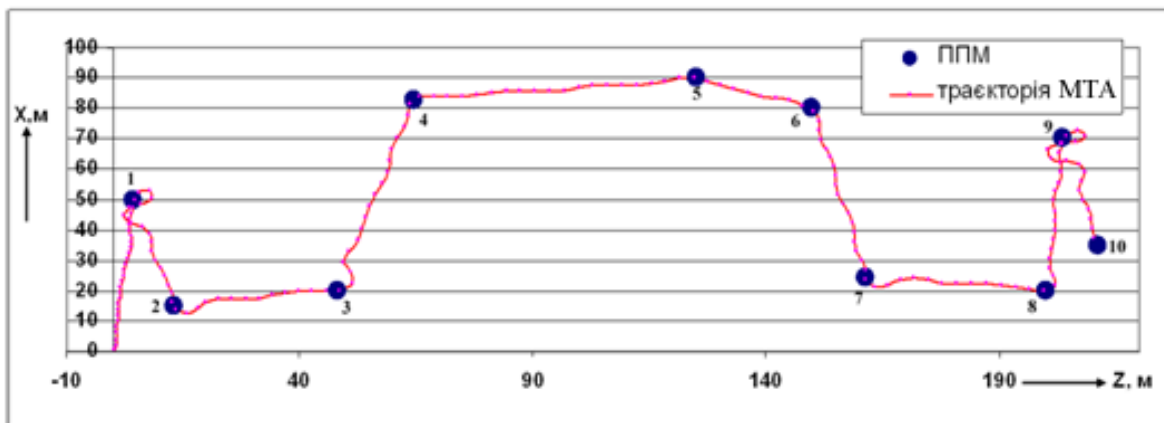


Рис. 7. Траєкторія руху МТА при проходженні ППМ (варіант 2).

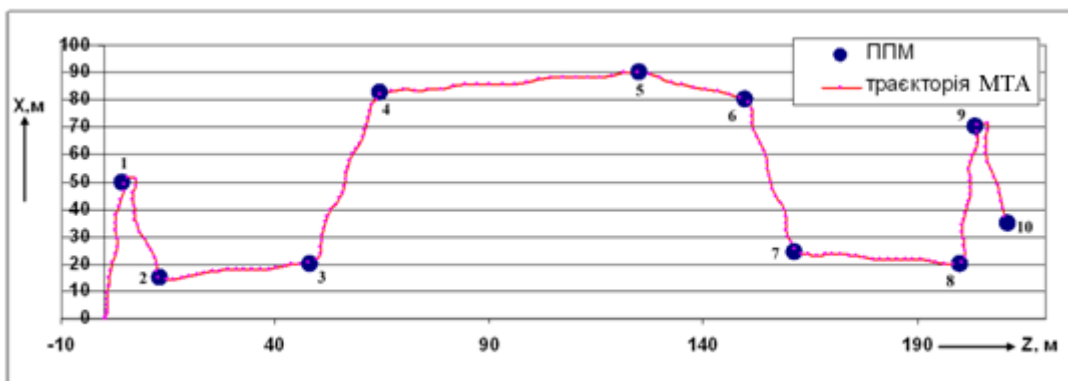


Рис. 8. Траєкторії руху МТА при проходженні заданих ППМ у комбінованому режимі.

З рис. 6 видно, що розроблений алгоритм руху МТА по заданій траєкторії є коректним. Наприклад, при застосуванні режиму дотримання заданого курсу (варіант 1), порушень проходження перших 9 заданих зон проходження пунктів маршруту не спостерігається. Витримується також задана швидкість проходження

ППМ (відхилення склали не більше 5 % від заданого значення). Проте процес проходження ППМ-ів відбувається нестабільно: після проходження ППМ 1 і досить різкого повороту до ППМ 2 починаються інтенсивні коливальні процеси, а після проходження ППМ 9 машина "зациклюється" на розворотах і дістатися ППМ 10 взагалі не може. Аналіз показав, що основними впливовими факторами на оптимізацію траєкторії руху БПМ виступають динамічні показники приводів ходової частини і керма БПМ по відношенню до заданої робочої швидкості руху БПМ.

Покращити процес руху БПМ по заданій траєкторії можливо шляхом зниження заданої робочої швидкості руху, наприклад до 3 м/с (рис. 7). У цьому випадку коливальні відхилення від заданого курсу БПМ знижуються і завдання виконується в повному обсязі – машина проходить всі ППМ-и в межах заданих відхилень.

Проте, бажано мати, з точки зору оптимізації траєкторії руху та збільшення діапазону робочих швидкостей руху МТА, усталену динамічну систему.

Для цього був застосований комбінований режим управління руху МТА – режим дотримання заданого курсу та режим корекції бокового відхилення. Окрім цього, аналіз наведених математичних моделей навігації МТА показав, що ефективним впливовим фактором на якість навігації є швидкість повороту керуючих коліс ω_k . При застосуванні комбінованого режиму і при збільшенні ω_k з 0,3 рад/с до 0,8 рад/с процес проходження ППМ виглядає у відповідності до рис. 8.

Як бачимо, процес проходження ППМ-ів відбувається задовільно на протязі всього заданого маршруту при швидкості руху машини 5 м/с.

Висновок. Проведені операції імітаційного моделювання процесу управління рухом польової машини показали високу ефективність запропонованих алгоритму управління рухом та методики побудови математичної моделі рухомого польового об'єкту.

Список літератури

1. *Аніскевич Л.В.* Технології точного землеробства / *Л.В. Аніскевич, В.І. Адамчук* // Науковий вісник Національного аграрного університету. – К., 2006. – Вип. 101. – С. 8–27.
2. *Селезнев В.П.* Навигационные устройства / *В.П. Селезнев.* – М.: Машиностроение, 1974. – 600 с.
3. *Дрейпер Ч.* Измерение малой навигационной силы / *Дрейпер Ч., Фрей Е., Сауппо М.С.* – М.: Механика. – 1968. – № 5. – С. 32–52.

Представлены принципы построения информационно-управляющего комплекса МТА. Определен метод прохождения

заданной траектории движения машины в поле и обоснованы условия соблюдения необходимых значений угла курса и скорости движения МТА на заданном отрезке траектории.

Полевая машина, навигация, модель движения, траекторное управление.

Principles of construction of informatively-managing complex of MTA are presented. The method of passing of set trajectory of vehicle motion in field and terms of observance of necessary values of corner of course and speed of MTA on set segment of trajectory are grounded.

Fields machines, navigation, models motion, trajectory management.

УДК 621.87

ВПЛИВ КОЕФІЦІЄНТА ДИСИПАЦІЇ НА ДИНАМІКУ РУХУ КОРМОЗМІШУВАЧА ГВИНТОВОГО ТИПУ

***В.С. Ловейкін, доктор технічних наук
А.В. Яворська, аспірант****

Розглянуто багатомасову математичну модель динаміки руху кормозмішувача гвинтового типу і наведено результати досліджень динаміки пуску з урахуванням коефіцієнта дисипації.

Гвинтовий кормозмішувач, динамічні навантаження, коефіцієнт дисипації, момент опору.

Постановка проблеми. В реальних механічних системах має місце незворотне перетворення механічної енергії в теплову. Втрати на нагрів обмоток ротора й статора, механічні втрати в підшипниках, розсіювання магнітної енергії поля ротора – все це дисипація електромеханічної енергії. Це перетворення відбувається за рахунок сил тертя: зовнішніх чи внутрішніх. А величина дисипації енергії коливаний характеризується коефіцієнтом дисипації і має значний вплив на динаміку руху машин і механізмів, зокрема на кормозмішувач гвинтового типу.

Дисипативні процеси в складних динамічних системах доцільно враховувати виходячи з теорії Лагранжа щодо переходу кінетичної енергії в потенціальну і навпаки. При цьому розділяють дисипацію

*Науковий керівник – доктор технічних наук В.С. Ловейкін

© В.С. Ловейкін, А.В. Яворська, 2012