

The paper considers issues related to streamlining the bundling of combined tillage units. The basis taken traction resistance and quality tillage courtier bodies of different geometric shapes. Mathematical model of postroena using the basic provisions of the theory of internal stress in the soil.

Tillage, combination unit, internal napryajenie in soil, loosening the soil.

УДК 631.319.07-02

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ КЕРУВАННЯ ҐРУНТООБРОБНИМИ АГРЕГАТАМИ ЯК ДИНАМІЧНИМИ СИСТЕМАМИ

***М. П. Артьомов, доктор технічних наук
Харківський національний технічний університет сільського
господарства імені Петра Василенка***

У статті запропоновано теоретичний підхід для дослідження керованості і стійкості руху мобільного сільськогосподарського агрегату, представленого у вигляді динамічної системи, що моделює його рух, яку використовують для оптимізації процесу керування. Експериментальну методику використовуємо для визначення кутів відхилення агрегату в процесі його роботи та вчасного забезпечення оптимізації параметрів керування.

Динамічна система, параметри, моделювання, мобільний сільськогосподарський агрегат, керування.

Постановка проблеми. Сільськогосподарські агрегати – складні динамічні системи. Вони працюють в умовах, що впливають на багаточисельні найрізноманітніші зовнішні фактори, які постійно змінюються. Для мобільних агрегатів такими факторами є нерівності поверхні поля, фізико-механічні властивості ґрунту (вологість, щільність, механічний склад та ін.), витрати які необхідно вкласти на її обробку і переміщення агрегату; властивості рослин (врожайність, забрудненість та ін.), зміна маси агрегату у процесі виконання технологічного процесу та ін.

Аналіз останніх досліджень. У мобільних сільськогосподарських агрегатів (МСА) змінність зовнішніх факторів при взаємодії робочих органів машин із оброблюваним середовищем

© М. П. Артьомов, 2015

(ґрунтом, рослинами) і рушіїв з поверхнею поля носить складний характер руху окремих точок, що характеризує в значній мірі якість багатьох операцій з обробітку ґрунту (оранка, міжрядна культивуція та ін.). Наукові основи досліджень і випробувань сільськогосподарської техніки закладені академіком В. П. Горячкіним, який назвав новий напрямок у науці – "землеробська механіка"[1]. П. М. Василенко в подальшому за допомогою рівнянь механіки описав процес появи випадкових збурень руху сільськогосподарської машини [2]. У своїх чисельних працях з землеробської механіки вони звертали увагу на імовірний, випадковий характер показників роботи сільськогосподарських агрегатів через змінність зовнішніх умов. Для вирішення задач загальної і статистичної динаміки мобільних сільськогосподарських агрегатів виникає необхідність у побудові моделей їх руху. У загальному випадку рівняння руху мобільних агрегатів будуть нелінійними і це значно ускладнює задачу контролю за впливом керуючих дій для забезпечення якості виконання агротехнічних операцій. Реакція на керуючі дії(впливи) може характеризувати не тільки ступінь досконалості, її функціональну стабільність, а також і технічний стан машини. Поведінку агрегату, його функціонування під час виконання технологічних операцій в нормальних умовах експлуатації, описали за допомогою розроблених раніше теоретичних методів і засобів експериментальних досліджень руху МСА. Вивченню задач динаміки сільськогосподарських агрегатів приділили багато уваги Василенко П. М., Погорілий Л. В., Анілович В. Я., Кутков Г. М., Рославцев А. В., Надикто В. Т., Булгаков В. М., Гячев Л. В., Гуков С. Я., Подригало М. А. та ін. Кожен з них вирішував окрему задачу динаміки, а в цілому було зроблено великий вклад в теоретичне обґрунтування комплектації та ефективної роботи агрегатів. Було розроблено і запропоновано для розгляду динамічні моделі МСА, що забезпечили вирішення багатьох задач, пов'язаних з впливом окремих елементів агрегату на показники його руху і роботи [3, 4]. МСА відносяться до динамічних систем, математичні моделі яких відображають взаємозв'язок між вихідними і вхідними впливами, їх похідними і інтегралами [5]. Динамічні властивості тракторних агрегатів суттєво залежать від параметрів основних елементів (деталей, агрегатів і т.д.), контроль технічного стану яких може бути виконаний шляхом аналізу їх динамічних характеристик.

Це можуть бути системи звичайних диференціальних рівнянь у частинних похідних, відповідні дискретні моделі та ін. Відмінною особливістю математичного опису будь-якої динамічної системи є те, що її поведінка розвивається у часі та характеризується n функціями $x_1(t), \dots, x_n(t)$, які називаються змінними стану (фазовими координатами) системи.

Мета досліджень. Для визначення параметрів керування мобільними сільськогосподарськими агрегатами необхідно розробити математичні моделі які б враховували усі основні показники та були представлені у вигляді динамічних систем. Математичні моделі динамічних систем можуть бути побудовані у різних формах.

Результати досліджень. У землеробській механіці розрізняють три види моделей – фізичні, розрахункові і математичні. Перші описують явища і процеси у відповідності до їх фізичної природи. Розрахункова модель передбачає використання сучасних методів математики і обчислювальної техніки. Математичні моделі дають змогу аналітично представити можливості агрегатів, які вони описують. Рух мобільного сільськогосподарського агрегату, як динамічної системи може бути керованим і протягом певного часу некерованим. У зв'язку з цим під час розрахунку і конструювання, а також випробуваннях і дослідженнях сільськогосподарські агрегати повинні розглядатись як керовані динамічні системи, що складаються із цілого ряду взаємозамінних підсистем. Модель агрегату можна розглядати у вигляді розрахункової схеми, яка б найбільш повно відображала реальні умови функціонування агрегату. В процесі реалізації керованого руху поведінка динамічної системи залежить від кількості керуючих функцій $U_1(t) \dots U_k(t)$. Припустимо також, що мобільний сільськогосподарський агрегат визначається однозначно, якщо задана вектор-функція керування $U(t) = (U_1(t), \dots, U_k(t))$ і початковий стан системи $x_0 = x(t_0) = (x_1(t_0), \dots, x_n(t_0))$, де t_0 – початковий час.

Для опису МСА, як динамічної системи, скористаємось математичною моделлю яку запишемо у вигляді системи звичайних диференціальних рівнянь, записаних у нормальній формі Коши:

$$\frac{dx}{dt} = F(x, U), \quad (1)$$

де: $x = (x_1, \dots, x_n)$, $U = (U_1, \dots, U_k)$, $F(x, U) = (F_1(x, U), \dots, F_n(x, U))$ – відома вектор-функція.

До системи вигляду (1) частіше за всіх приводяться математичні моделі динамічних систем з безперервним перебігом часу. Наприклад, якщо поведінка динамічної системи (МСА) описується системою диференціальних рівнянь в частинних похідних та відбувається у просторі і часі, то, проводячи дискретизацію за простором приходимо до системи звичайних диференціальних рівнянь подібних (1), розв'язок яких проводиться як функція часу. На рис.1 зображено динаміку вектора-функції, як кута відхилення руху МСА при виконанні агротехнічних операцій, від функції часу, із зміною напрямку згідно записаного

диференціального рівняння (1). Якщо поєднати кінцеві точки вектора-функції, то ми отримаємо графік кута відхилення напрямку руху агрегату, тоб-то побудуємо годограф кута.

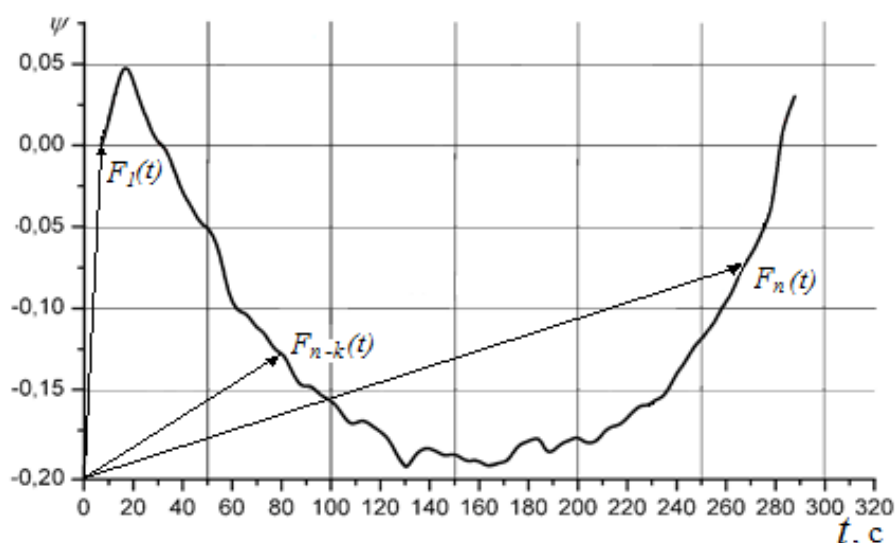


Рис. 1. Графік кута відхилення напрямку руху МСА як функція часу.

Наведене на початку припущення щодо однозначності процесу керування згідно рівняння (1) визначається умовами теореми про існування і єдиність розв'язку звичайних систем у формі Коши.

Для вирішення задачі оптимального управління системою (1) зробимо припущення. У початковий момент t_0 динамічна система (1) знаходиться у стані x_0 , необхідно визначити такий керуючий сигнал $U(t)$, який забезпечить перехід системи до заданого кінцевого стану $x_T = x(T)$ (відрізняється від початкового), де $T \leq \infty$ – кінцевий час. Зазвичай необхідно, щоб перехід з точки x_0 до точки x_T (перехідний процес) був у певному сенсі найкращим серед усіх можливих. У нашому випадку, коли ми розглядаємо динамічну систему (МСА), перехідний процес повинен задовольняти умові мінімуму часу переходу з одного стану до іншого, або умові мінімальної витрати енергії. Такий найкращий перехідний процес прийнято називати оптимальним процесом. Ми забезпечимо, у такому випадку, на керування динамічною системою найменші витрати часу або енергії.

МСА, що рухається, є автономною динамічною системою, основні зовнішні впливи на яку призводять до зміни кількості енергії, що використовується на переміщення. Ці дії, як правило, викликають зміну швидкості поступального руху агрегату, що характеризується рівнянням:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{P_o - \sum P_c}{m_{az}}, \quad (2)$$

де: P_o – рушійна сила агрегату (дотична сила тяги трактора); $\sum P_c$ – сума всіх сил опору руху агрегату; m_{az} – приведена до поступально-рухомих частин маса агрегату.

У рівнянні (2) з достатнім наближенням можна прийняти постійною приведену масу агрегату ($m_{az} = const$). Сили опору руху агрегату в процесі роботи залежать від факторів, багато з яких є змінними величинами, наприклад стан ґрунту і рельєф місцевості, глибина обробки, швидкісний режим і т.д. У відповідності до зміни сил опору змінюється і рушійна сила агрегату. Це призводить до того, що dv/dt (прискорення) в процесі виконання агрегатом певного технологічного процесу постійно змінюється як за величиною, так і за знаком. Запропонованим рівнянням описується перехідний процес у якому ми можемо обирати оптимальне керування системою. Параметр, який в певній мірі, забезпечує ефективне керування і може слугувати показником ефективності перехідного процесу динамічної системи є прискорення.

Реальний рух МСА, як динамічної системи, відрізняється від ідеального руху за визначеною траєкторією. Для контролю динаміки прискорень був розроблений вимірювально-реєстраційний комплекс, який дозволяє контролювати зміну прискорень (рис. 2) в режимі on-line, у трьох площинах за допомогою трьохкоординатних датчиків-акселерометрів. На графіку зображено динаміку бічних прискорень ґрунтообробного агрегату – трактора МТЗ-80+ПЛН 3-35.

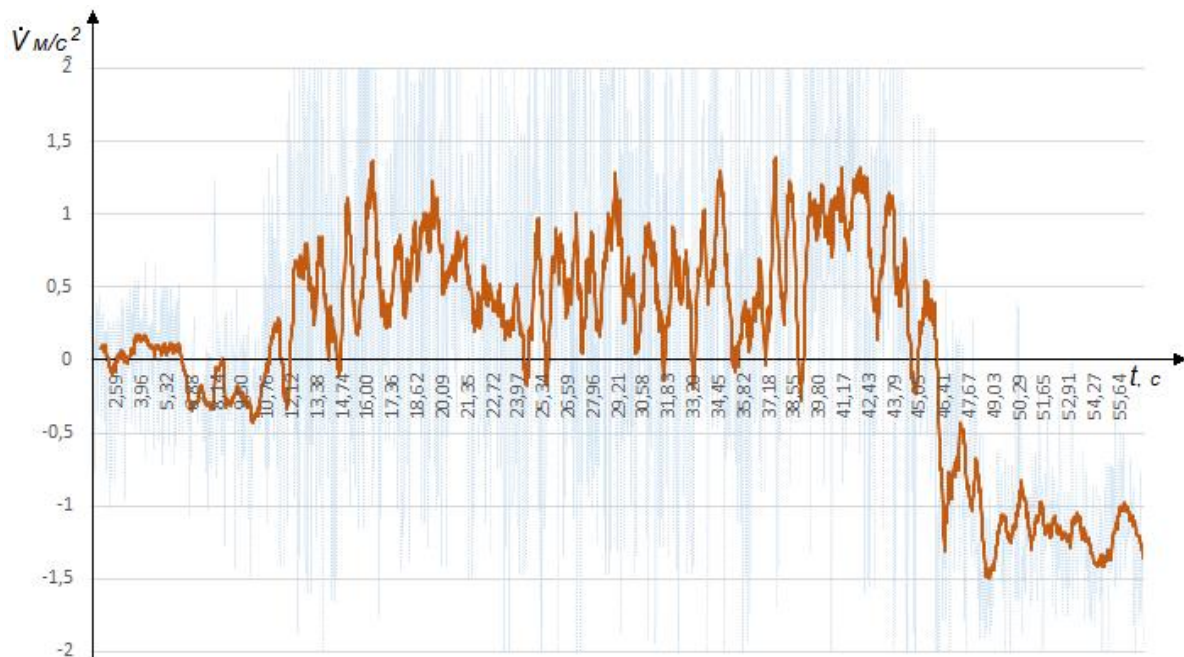


Рис. 2. Графік динаміки бічних прискорень виміряний за допомогою вимірювально-реєстраційного комплексу: 1 – масив виміряних даних; 2 – відфільтрований сигнал.

Якщо прийняти до уваги метод [6] про виникнення парціального прискорення від дії кожної окремої сили, у цьому випадку рух МСА записується за допомогою парціальних прискорень у вигляді:

$$\ddot{x} = \ddot{x}_T + \ddot{x}_K + \ddot{x}_R, \quad (3)$$

де: $\ddot{x}_T$ – є парціальним прискоренням, що виникає в процесі розгону МСА при відсутності будь яких сил окрім сили тяги P ; $\ddot{x}_K$ – парціальне прискорення трактора під дією тільки сили опору коченню на колесах трактора; $\ddot{x}_R$ – парціальне прискорення МСА під дією сил опору сільськогосподарського знаряддя.

При наявності вимірювального комплексу, який забезпечує вимірювання, реєстрацію і обробку бокових прискорень агрегату, це дозволяє використовувати метод парціальних прискорень. При переході системи з одного стану до іншого відбувається зміна прискорень і кута напрямку руху агрегату. В процесі дослідження лінійних моделей руху мобільних агрегатів було встановлено, що їх рух, з деякими обмеженнями, можна представити таким, що складається з двох не пов'язаних рухів: поздовжнього і бокового, при цьому поздовжній рух визначається коливаннями агрегату у поздовжньо-вертикальній площині, а боковий – у горизонтальній площині. Система рівнянь компонент парціальних прискорень може бути записана, лінеаризована і представлена, як система, що описує збурений рух у наступному вигляді:

$$\begin{aligned} \Delta a_x &= -\Delta_2 \ddot{\psi}_1 + \Delta_1 \dot{\psi}_1^2 \\ \Delta a_y &= -\Delta_1 \ddot{\psi}_1 - \Delta_2 \dot{\psi}_1^2 \end{aligned} \quad (4)$$

для розв'язку системи рівнянь введені позначення $\Delta a_x = a_{x1} - a_{x2}$; $\Delta a_y = a_{y1} - a_{y2}$; $\Delta_1 = \rho_2 \cos \alpha_2 - \rho_1 \cos \alpha_1$; $\Delta_2 = \rho_2 \sin \alpha_2 + \rho_1 \sin \alpha_1$. Деякі складові є відомими, а інші визначаються через експериментально виміряні компоненти прискорень $a_{x1}, a_{y1}, a_{x2}, a_{y2}$.

При складанні рівняння (4) припускалось, що $\sin \psi_1 \approx \psi_1$, $\cos \psi_1 \approx 1$. Початкове вирішення зазначеної проблеми розглянуто при дослідженні МСА, як двохмасової моделі (трактор і сільськогосподарське ґрунтообробне знаряддя), динамічної системи з чотирма ступенями свободи [6]. Для вирішення поставленої задачі скористаємось динамічною моделлю, яка була розглянута в роботі [6] і визначимо динаміку сил, що діють на агрегат в горизонтальній площині і забезпечують зміну напрямку руху агрегату. На основі загальних теорем кінематики плоскопаралельного руху абсолютно твердого тіла [7], отримаємо наступні залежності курсового кута ψ_1 трактора з компонентами прискорень в точках M_1 і M_2 на основі (4).

$$\begin{aligned}\Delta a_x &= \psi_1'' [\rho_2 \sin(\psi_1 - \alpha_2) - \rho_1 \sin(\psi_1 + \alpha_1)] + \\ &+ \dot{\psi}_1^2 [\rho_2 \cos(\psi_1 - \alpha_2) - \rho_1 \cos(\psi_1 + \alpha_1)], \\ \Delta a_y &= \psi_1'' [\rho_1 \cos(\psi_1 + \alpha_1) - \rho_2 \cos(\psi_1 - \alpha_2)] + \\ &+ \dot{\psi}_1 [\rho_2 \sin(\psi_1 - \alpha_2) - \rho_1 \sin(\psi_1 + \alpha_1)],\end{aligned}\quad (5)$$

Після ряду перетворень системи (5) отримаємо диференціальне рівняння для курсового кута трактора:

$$\psi_1'' = \sqrt{\frac{\Delta a_x^2 + \Delta a_y^2}{\Delta}} \sin(\psi_1 - \varphi), \quad (6)$$

$$\text{де: } \Delta = \Delta_1^2 + \Delta_2^2, \quad \varphi = \arctg \left(\frac{\Delta_1 \Delta a_x + \Delta_2 \Delta a_y}{\Delta_1 \Delta a_y - \Delta_2 \Delta a_x} \right).$$

Вираз (6) є нелінійним диференціальним рівнянням другого порядку. При використанні стандартних чисельних методів легко отримати його вирішення. Такий підхід дає можливість в процесі руху МТА контролювати зміни $\psi(t)$ від заданого напрямку та оцінювати стійкість і керованість агрегату.

Рівняння записані з урахуванням відхилень допомагають в розумінні теорії керування мобільним сільськогосподарським агрегатом. Посилаючись на записані рівняння вирішується задача оптимізації, яка має практичне значення.

Висновки

За результатами випробувань доведено, запропонований підхід для дослідження керованості і стійкості руху МСА, представленого у вигляді динамічної системи, яка моделює рух МСА, можливо використовувати для оптимізації процесу керування. Експериментальну методику можливо використовувати для визначення кутів відхилення агрегату в процесі його роботи та вчасно забезпечувати оптимізацію параметрів керування.

Отримані результати контролю динаміки прискорень, під час перехідного процесу в роботі агрегату, можуть бути використані при моделюванні параметрів керування в роботі ґрунтообробних сільськогосподарських агрегатів.

Список літератури

1. Горячкин В. П. Собрание сочинений. Т. 2 / В. П. Горячкин. – М.: Колос, 1968. – 240 с.
2. Василенко П. М. Универсальные математические модели функционирования машинных агрегатов и их применение / П. М. Василенко. – К.: Изд-во УСХА, 1990. – 14 с.
3. Погорілий Л. В. Мобільна сільськогосподарська енергетика: історія, тенденції розвитку, прогноз / Л. В. Погорілий, В. Г. Євтенко. – К.: Фенікс, 2005. – 184 с.
4. Кутьков Г. М. Выбор рациональной схемы агрегатирования мобильного энергетического средства с плугом / Г. М. Кутьков, Е. В. Габай, В. И. Кали-

новский, И. И. Кандрусев, В. Т. Надыкто // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1990. – № 3. – С. 21–23.

5. Кутьков Г. М. Технологические основы и тяговая динамика мобильных энергетических средств / Г. М. Кутьков. – М.: Изд-во МИИСП, 1993. – 151 с.

6. Артьомов М. П. Математична модель машинно-тракторного агрегату з використанням метода парціальних прискорень / М. П. Артьомов // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: технічні науки. – Вінниця, 2012. – Вип. 11, т.1(65). – С. 34–40.

7. Ляпунов А. М. Лекции по теоретической механике / А. М. Ляпунов. – К.: Наукова думка, 1982. – 362 с.

В статье предложен теоретический подход для исследования управляемости и устойчивости движения мобильного сельскохозяйственного агрегата, представленного в виде динамической системы, моделирующей его движение, который используют для оптимизации процесса управления. Экспериментальную методику используем для определения углов отклонения агрегата в процессе его работы и своевременного обеспечения оптимизации параметров управления.

Динамическая система, параметры, моделирование, мобильный сельскохозяйственный агрегат, управление.

The article suggests theoretical approach to the study of controllability and stability of the motion of mobile agricultural units, presented in the form of a dynamic system, which simulates its movement used to optimize the management process. We use experimental methods to determine the angles of deflection of the machine during operation and timely provision of optimizing the control parameters.

Dynamic system parameters modeling, mobile agricultural units, management.

УДК 631.313.02

УМОВИ САМООРГАНІЗАЦІЇ ТРИБОСИСТЕМИ «РОБОЧИЙ ОРГАН – ҐРУНТ»

**С. М. Герук, кандидат технічних наук
Національний науковий центр «Інститут механізації
та електрифікації сільського господарства»**

**К. В. Борак, кандидат технічних наук
В. Г. Руденко, магістр
Житомирський агротехнічний коледж**

© С. М. Герук, К. В. Борак, В. Г. Руденко, 2015