

УДК 629.017

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ І КЕРОВАНОСТІ МОБІЛЬНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ АГРЕГАТІВ

Артёмов М. П., д.т.н., професор

(Харківський національний технічний університет сільського господарства імені П. Василенка)

За допомогою розрахунково-експериментального методу пропонується методика визначення залежності, на основі результатів експериментальних вимірювань лінійних прискорень, між розрахованою силою тяги, керованістю та динамічністю мобільної машини моделюванням парціальних прискорень.

Вступ. Технічний стан мобільних сільськогосподарських агрегатів є основою для якісного і своєчасного виконання агротехнічних операцій, що обумовлює зниження енерговитрат і отримання високих врожаїв. Визначення технічного стану в процесі експлуатації сільськогосподарських агрегатів завжди було і залишається однією з складних задач землеробської механіки. На виконання агротехнічних вимог великий вплив має керованість мобільної сільськогосподарської машини.

Керованість різних складових мобільної машини характеризує її здатність адекватно реагувати на керуючі дії механізатора, або системи керування. Керуючі впливи(дії) викликають перехідний процес із одного стану рівноваги механічної системи, до іншого. Для механічних систем, до яких відносяться мобільні сільськогосподарські агрегати, перехідний процес супроводжується зміною швидкісного режиму руху. Прискорення, які виникають у цей час, характеризують не тільки керованість системи, а і зміни її технічного стану, що обумовлено нестабільністю параметрів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Норберт Вінер, засновник кібернетики, звертав увагу на необхідність керування динамічною системою з метою її збереження від саморуйнування. Тобто, керованість є необхідним елементом для функціонування усіх можливих систем.

Керованість - це одна з властивостей об'єкту, яка характеризує його здатність адекватно реагувати на керуючі впливи(дії). Керування – це здійснення таких спеціальних впливів(дій) на механічну систему, які забезпечують необхідний процес. Іншими словами, керування – це процес організації впливів(дій), що відповідають алгоритму керування[1].

Складні механічні системи, до яких відносяться і мобільні сільськогосподарські агрегати, є багатовимірними динамічними системами з нескінченним числом ступенів свободи. Вивчення руху таких динамічних

систем пов'язано з великими труднощами. Цими проблемами займалися такі вчені як Василенко П.М., Чудаков Д.А., Смірнов Г.А., Гуськов В.В., Александров Є.Є., Подригало М.А., Погорілий Л.В., Лебедєв А.Т., Надикто В.Т. та ін.

Постановка проблеми. Метою дослідження є визначення впливу сили тяги і керованості мобільної машини в залежності від її напрацювання і технічного стану. Для її досягнення необхідно вирішити наступні задачі:

- визначити вплив прискорення на динамічні показники мобільної машини в процесі переходу від одного режиму руху до іншого;
- провести аналіз впливу зміни сили тяги на умови функціонування мобільної машини.

Результати досліджень. Суттєвою особливістю функціонування мобільних сільськогосподарських агрегатів, як динамічних систем, є їх багатовимірність, тобто наявність багатьох вхідних і вихідних змінних. Кількість вхідних і вихідних компонентів у процесі функціонування залежить від типу агрегату, обраної розрахункової схеми, ступеню врахування умов роботи та інших відомих і невідомих факторів. Сільськогосподарські мобільні агрегати є багатовимірними системами, крім того кожна вхідна дія може впливати на декілька вихідних змінних.

Відомо, що процеси які відбуваються у роботі різних динамічних систем можуть бути поділені умовно на дві групи. Перша група – процеси, що обумовлені заздалегідь відомими факторами. Проходження таких процесів ми маємо можливість прогнозувати (якщо є відповідна модель системи для дослідів) із різним ступенем точності. У кожному процесі роботи реальної системи є елементи випадковості, інколи вони можуть бути несуттєвими і ними можна знехтувати. Для аналізу, синтезу та оптимізації таких процесів використовують методи розроблені на основі законів класичної механіки і фізики. У цих методах усі зовнішні умови функціонування і властивості динамічних систем розглядаються, як цілком визначені.

Інша група процесів характеризується тим, що в них випадкові фактори мають суттєве значення. Правильно розрахувати ці процеси та оцінити їх результати можливо тільки враховуючи, випадковий у імовірно-статистичному розумінні, характер складових. Аналіз і прогнозування таких процесів без урахування реальних умов їх протікання, може привести до суттєвих помилок.

Особливістю мобільних сільськогосподарських агрегатів, як динамічних систем, є змінність їх параметрів упродовж певного відрізка часу, тобто ці мобільні агрегати є нестационарними динамічними системами. Нестационарність системи проявляється за рахунок зміни маси посадкових, посівних, збиральних машин, через спорожнення або наповнення бункерів, а також через зміну геометрії робочих органів у зв'язку із зношенням та деформацією деталей для ґрунтообробних агрегатів.

У загальному випадку механічна система, у якій в процесі функціонування змінюється не тільки швидкість, але і маса, рівняння що характеризує процес керування буде мати вигляд:

$$\frac{d(mV)}{dt} = P_{кер} - \Sigma P_c \quad (1)$$

де m – маса машини (об'єкту керування);

V – швидкість руху машини;

t – час досліду;

$P_{кер}$ – керуючі впливи(дії);

ΣP_c – сума усіх сил опору для виходу об'єкту із стану рівноваги.

Для забезпечення ефективного процесу керування необхідно щоб $P_{кер}$ була підведена до виконуючого елемента з найменшими втратами. Через це необхідно зробити визначення передатної функції. У роботі [3], запропонована передатна функція механізму здійснення повороту колісної машини (або зміни курсового кута)

$$W = \frac{\Delta\psi}{\Delta\bar{\alpha}} \quad (2)$$

де $\Delta\psi$ – зміна курсового кута машини;

$\Delta\bar{\alpha}$ – зміна середнього кута повороту керованих коліс.

В різних представленнях передатних функцій залежності включають параметри конструкцій передатних механізмів, що здійснюють обробку керуючих сигналів. У роботі [4], на прикладі керування розгоном мобільних машин з використанням метода парціальних прискорень, запропоновано передатну функцію керування розгоном, значення якої близькі до одиниці.

$$W = \frac{dV / dt}{\dot{V}_{кер}^{парц}} = \frac{\dot{V}_m}{\dot{V}_{кер}^{парц}} \quad (3)$$

де dV / dt – прискорення мобільної машини під час розгону;

$\dot{V}_{кер}^{парц}$ – парціальне прискорення мобільної машини, що виникло під дією керуючої(тягової) сили.

Парціальне (від старолатинської *partialis* – частковий), тобто прискорення яке мала б машина під дією однієї сили, що прикладена в цей час до неї, за відсутності всіх інших сил. Загальне прискорення мобільної машини дорівнює сумі прискорень, які вона отримує від дії усіх сил, що виводять її з одного стану рівноваги до іншого.

Динамічні властивості виявляються під час розгону, гальмування, або повороту мобільної сільськогосподарської машини і у випадках коли сільськогосподарський агрегат рухається на прямолінійній ділянці та виконує маневр згідно агротехнічних вимог. При проведенні динамічних випробувань скористаємось ґрунтообробним агрегатом МТЗ-80+КПС-4 і проводити контроль параметрів будемо за допомогою вимірювально-реєстраційного

комплексу, який обладнано трьохкомпонентними датчиками-акселерометрами. Щоб забезпечити якісний процес контролю динаміки агрегату необхідно встановити таку кількість датчиків, яка дасть змогу контролювати усі напрямки осей ступенів вільності мобільного агрегату[2].

На рис. 1 зображено вигляд екрану вимірювально-реєстраційного комплексу з результатами вимірювань прискорень в роботі ґрунтообробного агрегату.

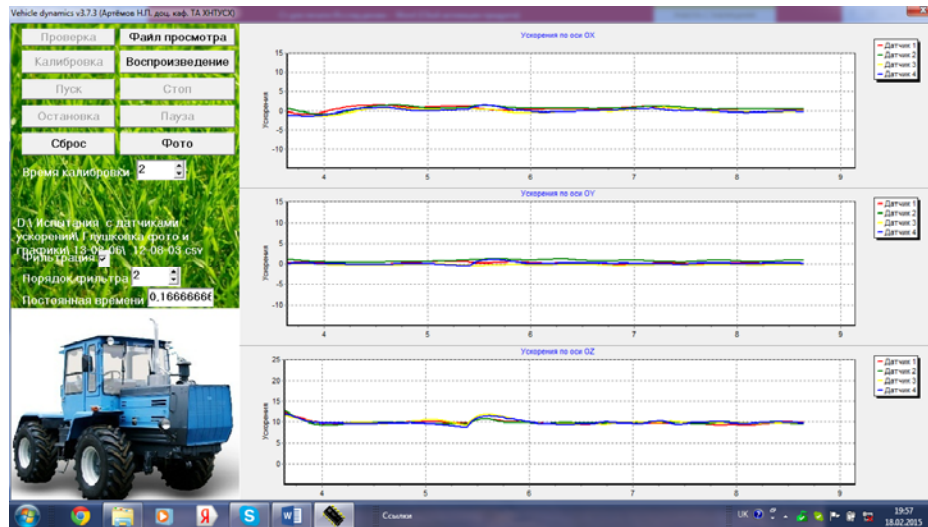


Рисунок 1 – Результати вимірювань прискорень в роботі ґрунтообробного агрегату

Рух сільськогосподарського мобільного агрегату, як механічної системи, є визначеним, якщо відомі сили, що на нього впливають і початкові умови руху.

Надлишок або запас потужності використовується для скорішого виведення сільськогосподарського агрегату в усталений режим, тобто визначає його динамічність. Початкове збільшення потужності призводить до появи

лінійного прискорення $\dot{V}_T = \frac{dV}{dt}$, яке стає показником динамічності агрегату [5].

Динамічні характеристики агрегатів і систем мобільних сільськогосподарських машин суттєво залежать від їх технічного стану.

Рівняння динаміки поступального руху, з використанням парціальних прискорень, для сільськогосподарського агрегату має вигляд:

$$m_T \cdot \dot{V}_T (V) = P_{\text{тяги}} - P_{\text{кр}} (V) - m_T g [f(V) + f_{\text{мп}} (V)], \quad (4)$$

де m_T – загальна маса трактора;

\dot{V}_T – прискорення трактора;

$P_{\text{тяги}}$ – тягове зусилля на ведучих колесах, умовно визначене для випадку відсутності втрат енергії у трансмісії;

$P_{кр}(V)$ – функція зміни зусилля на кроку від швидкості руху;

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

$f(V)$ – функція зміни коефіцієнту опору коченню коліс трактора від швидкості;

$f_{пр}(V)$ – умовне збільшення коефіцієнту опору коченню коліс трактора за приведених до коліс опору у трансмісії і порушення геометрії ходової частини мобільної машини.

Проведемо перетворення (4), отримаємо рівняння розрахунку прискорення агрегату:

$$\dot{V}_T(V) = \frac{P_{мяг}}{m_T} - \frac{P_{кр}(V)}{m_T} - g[f(V) + f_{пр}(V)] \quad (5)$$

Проаналізуємо праву частину рівняння (5). Величина:

$$\dot{V}_T^{cb.p}(V) = \frac{P_{мяг}}{m_T} \quad (6)$$

є парціальним прискоренням, що виникає під час розгону сільськогосподарського агрегату при відсутності будь яких сил окрім сили $P_{мяг}$.

Парціальне прискорення:

$$\dot{V}_T^{кр}(V) = -\frac{P_{кр}(V)}{m_T} \quad (7)$$

характеризує прискорення агрегату при відсутності тягової сили на ведучих колесах і опору коченню на усіх колесах трактора і дії тільки сили $P_{кр}(V)$.

Парціальне прискорення:

$$\dot{V}_T^f(V) = -g[f(V) + f_{пр}(V)] \quad (8)$$

являє собою прискорення сільськогосподарського агрегату під дією тільки сили опору коченню на колесах трактора.

Таким чином, рівняння (5) маємо змогу записати у вигляді суми парціальних прискорень:

$$\dot{V}_T(V) = \dot{V}_T^{cb.p}(V) + \dot{V}_T^{кр}(V) + \dot{V}_T^f(V) \quad (9)$$

Прискорення мобільної машини складається із суми парціальних прискорень, які залежать від дії різних сил, що прикладені до неї і впливають на рух мобільного сільськогосподарського агрегату рис.2.

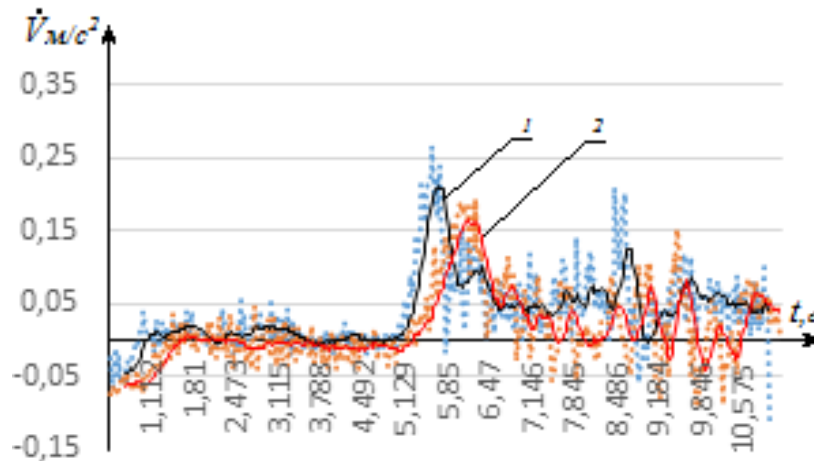


Рисунок 2 – Експериментально виміряні прискорення МСА: 1 – технічно справний двигун; 2 – вийшла з ладу форсунка

$$\dot{V}_T^{св.р} (V) = \frac{P_{тяг}}{m_T}$$

Для цього рівняння $\dot{V}_T^{св.р}$ - є парціальним прискоренням, що виникає в процесі розгону МСА при відсутності будь яких сил окрім сили тяги $P_{тяг}$, інші складові цього рівняння представляють парціальні прискорення від дії сил опору перекочуванню і сил опору знаряддя, відповідно.

За результатами проведених вимірювань (рис.2) робимо висновок про те, що у випадку виходу з ладу форсунки двигуна збільшення прискорення відбувається повільніше і за величиною на 27% менше.

Скориставшись рівнянням (4) проведемо розрахунок сили тяги трактора при виконанні технологічної операції.

Для проведення розрахунку скористаємось програмою. При запуску скомпільованого виконуваного файлу програми відкривається діалогове вікно, зовнішній вигляд якого представлений на рис. 3. Лістинг частини програми наведено на рис. 4.

Для початку роботи програми у відповідні поля вводяться такі дані:

- кінцеве число кількості сигналів акселерометрів при випробуваннях;
- кінематичні дані мобільного сільськогосподарського агрегату.

Рисунок 3 – Зовнішній вигляд вікна програми


```

Ввод данных о расчетной модели среды: трактор + плуг
"Введите число строк в файле данных ускорений датчиков: N (целое число) "

FileName=argv[1];
TXT_Read(FileName,N,T,AX,AY,BX,BY);
next=T[2]-T[1];

Введите массу трактора m1 (кг): m1
Введите массу плуга m2 (кг): m2
Радиус инерции трактора (м): ro1
Радиус инерции плуга (м): ro2
Расстояние между центром масс трактора и т.О (м): b1
Расстояние между центром масс плуга и т.О (м): b2
Расстояние между т.О и мгновенным центром сопротивления плуга (м): s_l
Расстояние между колесами (м): bt
Постоянная пропорции сил : gamma
Коэффициент жесткости : D
координаты контрольных точек M1 (м): M1x1, M1y1
координаты контрольных точек M2 (м): M2x2, M2y2
удельное расход топлива (кВт/час): g_en
коэффициент сглаживания ускорений датчиков (Lz >= 1): Lz

Алгоритм решения
m = m1 + m2;
gip = (M1x1-M2x2)*(M1x1-M2x2) + (M1y1-M2y2)*(M1y1-M2y2);
D1 = (M1x1*M2x2 + M1y1*M2y2 - M1x1*M1x1 - M1y1*M1y1)/gip;
D2 = (M1y1*M2x2-M1x1*M2y2)/gip;
]
// Расчет сил тяги трактора и силы сопротивления агрегата
Цикл по I до N
[ dax = AX[i] - BX[i];
  day = AY[i] - BY[i];
  RX = m*(AY[i]+dax*(D2-m1*b1*D3/m)+day*(D1-m1*b1*D4/m)+m2*b2*(B[i]-
AA*G2[i])/m)/gamma;
  A1 = AX[i] + D1*dax - D2*day;
  C1 = fabs(A1) + fabs(RX)/m; // last
  A2 = AY[i] + dax*(D2-(b1*b1+ro1*ro1)*D3/b1) + day*(D1-(b1*b1+ro1*ro1)*D4/b1) +
D*(G1[i]-G2[i])/(m1*b1);
  C2 = 2.0*m1*b1*A2/(bt*m);
  A3 = m1*b1*AY[1] + dax*(m1*b1*D2-m1*(b1*b1+ro1*ro1)*D3) + day*(m1*b1*D1-
m1*(b1*b1+ro1*ro1)*D4) + D*G1[i];

```

Рисунок 4 – Зовнішній вигляд вікна програми

Кнопка "Відкрити файл" виводить діалогове вікно вибору файлу формату "BIN", що містить зняті з акселерометра експериментальні дані x_i , y_i , z_i , в двійковому форматі.

Після вибору файлу програма виконує побудову графіків прискорень автомобіля по трьох осях чутливості датчика-акселерометра. Допускається одночасна обробка декількох файлів. Параметри апроксимації можна змінювати в режимі реального часу. Суцільними лініями наводяться згладжені криві, точками - необроблені дані, що містять шуми і похибки.

Натискання кнопки "Зберегти" експортує оброблені дані у файл формату "CSV" - tabseparatedfile, який зручно обробляти за допомогою пакета MS Excel.

Скориставшись програмними пакетами будуємо графіки сил тяги трактора при розгоні із технічно справним двигуном і у випадку, якщо вийшла з ладу форсунка рис.5.

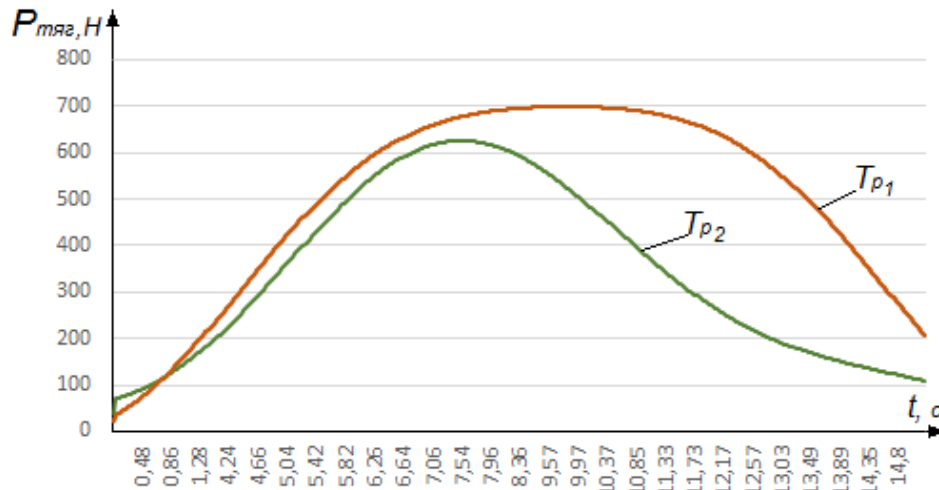


Рисунок 5 – Порівняння розрахованої сили тяги:
 T_{p1} – справний двигун МСА;
 T_{p2} – несправна форсунка.

Графік сили тяги розгону і виходу мобільної сільськогосподарської машини в усталений режим дає змогу зробити висновок стосовно технічного стану енергетичної частини машини, сільськогосподарського знаряддя, а також з використанням певного розрахунку надати рекомендації з покращення керованості і функціональної стабільності. Висновок і рекомендації з подальшого використання та технічного стану надається на основі масиву даних занесених до пам'яті вимірювального комплексу з номінальними (паспортними) характеристиками мобільної машини

Висновок. За результатами проведених досліджень запропоновано розрахунково-експериментальний метод визначення тягових показників тракторів мобільних сільськогосподарських агрегатів при проведенні експлуатаційних і кваліметричних випробувань. На прикладі оцінки тягових і енергетичних властивостей мобільних сільськогосподарських агрегатів показано можливості метода парціальних прискорень. Отримані залежності дозволяють дати оцінку динаміки сили тяги і керованості мобільних машин.

Список літератури

1. *Александров Є.Є.* Автоматичне керування рухомими об'єктами і технологічними процесами / Александров Є.Є., Козлов Е.П., Кузнецов Б.І. // Теорія автоматичного керування. Підручник Том 1 – Х.: НТУ «ХПІ», 2002. – 490с.
2. *Александров Е.Е.* Динамика транспортно - тягових и колесных и гусеничных машин / Александров Е.Е., Волонцевич Д.О., Карпенко В.А., Лебедев А.Т., Перегон В.А., Самородов В.Б., Туренко А.Н. – Харьков: Издательство ХГАДТУ(ХАДИ), 2001. – 642 с.

3. *Подригало М.А.* Маневренность и тормозные свойства колесных машин / Подригало М.А., Волков В.П., Кирчатый В.И., Бобошко А.А. – Харьков.:Изд-во ХНАДУ,2003. – 403с.

4. *Лебедев А.Т.* Оценка управляемости мобильных машин методом парциальных ускорений / Лебедев А.Т., Артемов Н.П., Кот А.В., Подригало М.А. // *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету Випуск 10 Том 7, Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Моделювання технологічних процесів в АПК"* Мелітополь. 2010. – С.65-72.

5. *Артьомов М.П.* Щодо впливу зовнішніх сил на динаміку руху комбінованих сільськогосподарських машинно-тракторних агрегатів / М.П. Артьомов // *Харків: Вісник ХНТУСГ, Тракторна енергетика в рослинництві.* – 2007. – Випуск 60. – С.32 – 40.

Аннотация

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ И УПРАВЛЯЕМОСТИ МОБИЛЬНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ АГРЕГАТОВ

Артемов Н.П.

С помощью расчетно-экспериментального метода предлагается методика определения зависимости, на основе результатов экспериментальных измерений линейных ускорений, между рассчитанной силой тяги ее управляемостью и динамичностью мобильной машины моделированием парциальных ускорений.

Abstract

INVESTIGATION DYNAMICS AND CONTROL LIABILITY OF MOBILE AGRICULTURAL UNITS

N. Artiomov

Method of determining the dependence on the results of experimental measurements of linear acceleration is proposed with using the method of partial accelerations, its dynamics, handling and technical state of mobile machines.