

Изследване на динамични процеси в навесен почвообработващ агрегат

Светлин Стоянов, Стоян Стоянов

Abstract: Investigation of Dynamical Processes in Three-point Suspension System for Agricultural Unit. A research model for investigating dynamical processes in a system "wheel tractor - three-point suspension" is developed. The differential equations of motion are obtained. The contact with soil and the resistance forces due to the technological process are modeled. Contemporary methods and means have been applied – the software systems MATLAB and MSC.ADAMS. Results for the velocities and forces in the three-point suspension system are obtained and analyzed.

Key words: dynamical processes, three-point suspension, agricultural unit, research model, differential equations, Lagrange method, MATLAB, ADAMS.

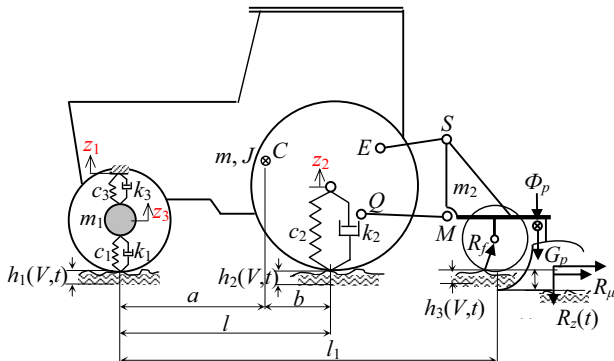
ВЪВЕДЕНИЕ

Навесните земеделски агрегати, поради особеностите на силовата връзка между трактора и навесената работна машина, представляват по-сложни динамични системи в сравнение с прикачните агрегати. Затова, при тяхното моделира и изследване трябва да се разглеждат като взаимно свързани подсистеми, включващи компонентите на агрегата и особеностите на обработваемата среда [Лурье, 1981]. Основно влияние върху неравномерността на натоварването, повишаването на енергетичните загуби и качеството на технологичния процес оказват неравностите на полето и изменението на съпротивлението на почвата върху работната машина [Misun, 1997]. Във връзка с това съществува необходимостта от построяване на рационални изчислителни модели на този тип агрегати, които най-пълно да отразяват реалните условия на работа, и най-съществените страни на изпълнявания работен процес.

Цел на настоящата статия е разработването на механо-математичен модел на навесен агрегат за оран, състоящ се от колесен трактор и навесен плуг, с отчитане на съществените външни смущения.

1. МЕХАНО-МАТЕМАТИЧЕН МОДЕЛ НА АГРЕГАТА

Анализът на резултати от експериментални изследвания на агрегати от този тип дават основание за изброените по-долу предпоставки при изграждане на модела.



Фигура 1

1.1. ПРЕДПОСТАВКИ

По отношение на трактора (фиг. 1) са направени някои от обичайните предпоставки, предполагащи съставянето на равнинен в надлъжната вертикална равнина и линеен модел. По-съществени са:

- наличие на равнина на надлъжна симетрия;
- малки трептения около равновесното праволинейното и равномерно движението по хоризонтална равнина;
- линеен характер на демпфиращите и еластичните елементи на опорните колела и на окачването на трактора.

По отношение на навесната система, на плуга и на силите, които действат върху тях е прието (фиг. 1):

- триточкова навесна система в режим на плаващо положение;
- навесния механизъм се разглежда като равнинен гостов механизъм, представляващ проекция на реалния пространствен механизъм в надлъжната равнина на трактора [Лурье, 1981];
- масите на рамената се пренебрегват;
- плугът извършва транслационно движение във вертикално направление относно трактора. Основание за това са агротехническите изисквания за минимални ъгли премествания на плуга в надлъжната вертикална равнина, което осигурява еднакво копиране на терена от работните органи по дължина, [Хараев, 1963];
- всички плужни тела са еднакво натоварени;
- съпротивителните сили върху плужните тела са редуцирани до динама за точка от едно (условно средно) плужно тяло;
- общото (теглителното) съпротивление се състои от силите за обръщане на почвения слой $R_p(t)$, триенето на лемежите в стената на браздата R_μ и съпротивлението при търкаляне на опорното колело на плуга R_f . Опорна реакция върху плуга е само вертикалната компонента на R_f . [Клецкин, 1967].

1.2. МАТЕМАТИЧЕН МОДЕЛ

Моделът е съставен за колесен трактор с еластично окачване на предния мост. Агрегатът е представен като система от твърди тела, състояща се от: рама на трактора (заедно с двигателя, трансмисията и задния мост) с маса m и масов инерционен момент J относно напречната централна ос; преден мост с маса m_1 ; плуг с маса m_p .

Прието е, че системата притежава три степени на свобода с обобщени координати (фиг. 1):

z_1 – вертикално преместване на рамата над оста на предното колело;

z_2 – вертикално преместване на рамата над оста на задното колело;

z_3 – вертикално преместване на подресорната маса в предната част на трактора.

Диференциалните уравнения на движение на системата са получени от уравненията на Лагранж от 2 род и имат вида

$$(1) \quad \begin{aligned} m_{11} \ddot{z}_1 + m_{12} \ddot{z}_2 + k_{11} \dot{z}_1 + k_{13} \dot{z}_3 + c_{11} z_1 + c_{13} z_3 &= Q_1 \\ m_{21} \dot{z}_1 + m_{22} \dot{z}_2 + k_{22} z_2 + c_{22} z_2 &= H_2 h_2 + B_2 \dot{h}_2 + Q_2 \\ m_{33} \ddot{z}_3 + k_{31} \dot{z}_1 + k_{33} \dot{z}_3 + c_{31} z_1 + c_{33} z_3 &= H_3 h_1 + B_3 \dot{h}_1 + Q_3 \end{aligned}$$

където: $m_{11} = m(b^2 + \rho^2)/l^2$; $m_{12} = m(ab - \rho^2)/l^2$; $m_{21} = m_{12}$; $m_{22} = m(a^2 + \rho^2)/l^2$;
 $m_{33} = m_1$; $\rho^2 = J/m$;

$$k_{11}=2k_3; k_{13}=k_{31}=-2k_3; k_{22}=2k_2; k_{33}=2(k_1+k_3);$$

$$c_{11}=2c_3; c_{13}=c_{31}=-2c_3; c_{22}=2c_2; c_{33}=2(c_1+c_3);$$

$$H_2=2c_2; H_3=2c_1; B_2=2k_2; B_3=2k_1;$$

$c_1, c_2, c_3, k_1, k_2, k_3$ – съответно коефициенти на еластичност и на демпфиране на предните и на задните опорни колела на трактора и на окачавето на предния мост.

Q_1, Q_2, Q_3 , – обобщени сили;

$Q_1 = -M_y/l$; $Q_2 = M_y/l + P_z$; $Q_3 = 0$; P_z, M_y – компоненти на редуцираната за точка Q динама на действащите върху плуга сили;

$h_1(t), h_2(t), h_3(t), \dot{h}_1(t), \dot{h}_2(t), \dot{h}_3(t), \ddot{h}_3(t)$ – детерминирани функции на височините на неравностите на полето и на техните производни.

1.3. МОДЕЛИРАНЕ НА СЪПРОТИВЛЕНИЕТО НА ПОЧВАТА И НА НЕРАВНОСТИТЕ НА ТЕРЕНА

Съпротивлението на почвата $R(t)$ и неравностите на терена $h(t)$ представляват случайни външни смущения за динамичната система. В тази работа те са моделирани като детерминирани процеси във вид на прости хармонични функции.

Хоризонталната компонента $R_x(t)$ (фиг.1) се моделира с израза

$$R_x(t) = \bar{R}_x + R_o \sin v_R t,$$

където \bar{R}_x е средната стойност на теглителното съпротивление, R_o – амплитудата на хармоничната съставляваща, v_R - кръгова честота.

Средната стойност \bar{R}_x се определя с формулата [Горячкин, 1965]

$$\bar{R}_x = a_b b_p (k_o + \varepsilon V^2),$$

където a_b е средната (настроена) дълбочина на браздата, b_p – захват на плуга, k_o – специфично съпротивление на напречното сечение на орния слой, ε – "скоростен" коефициент.

Вертикалната $R_z(t)$ и напречната $R_y(t)$ компоненти на теглителното съпротивление се определят със зависимостите [Клецкин, 1967]

$$R_z(t) = R_x(t) \operatorname{tg} \psi, \quad R_y(t) = R_x(t) \operatorname{tg} \zeta,$$

където ψ и ζ са експериментално получени ъгли при пространствено динамометриране.

Силата $R_\mu(t)$ се определя с израза

$$R_\mu(t) = \mu R_y(t),$$

а между компонентите на R_f съществува връзката,

$$R_{fx} = f R_{fz},$$

където μ е коефициент на триене при плъзгане, f – коефициент на съпротивление при търкаляне.

Неравностите под опорните колела на трактора и под опорното колело на плуга са моделирани със следните функции:

под предните колела на трактора

$$h_1(t) = h_0 (1 - \cos v_1 t);$$

под задните колела на трактора

$$h_2(t) = h_0 (1 - \cos v_1 t_0);$$

под опорното колело на плуга

$$h_3(t) = h_{03} (1 - \cos v_2 t),$$

където h_0 и h_{03} са половината от височините на неравностите; $v_1 = 2\pi V/s_o$,
 $t_o = t + l/V$; $v_2 = 2\pi V/s_1$; s_o и s_1 – дължини на неравностите за един период; V -
 скорост на движение на агрегата.

2. ЧИСЛЕН ЕКСПЕРИМЕНТ

Численият експеримент е проведен за агрегат, състоящ се от трактор МТЗ-82 и навесен трикорпусен плуг ПЛН 3-35. Стойностите на параметрите са следните:

- Инерционни параметри

$$m = 3200 \text{ kg}; J = 3864 \text{ kgm}^2; m_2 = 150 \text{ kg}; m_p = 390 \text{ kg};$$

- Коэффициенти на еластичност

$$c_1 = 206\,010 \text{ N/m}; c_2 = 220\,725 \text{ N/m}; c_3 = 362\,970 \text{ N/m};$$

- Дисипативни коефициенти

$$k_1 = 1177.2 \text{ Ns/m}; k_2 = 2648.7 \text{ Ns/m}; k_3 = 3433.5 \text{ Ns/m};$$

- Геометрични параметри и коефициенти

$$l = 2.37 \text{ m}; a = 1.782 \text{ m}; b = 0.588 \text{ m};$$

$$a_b = 0,2 \text{ m}; b_p = 1,05 \text{ m}; k_o = 30 \text{ kN/m}^2; \varepsilon = 1,5 \text{ kN.s}^2/\text{m}^2$$

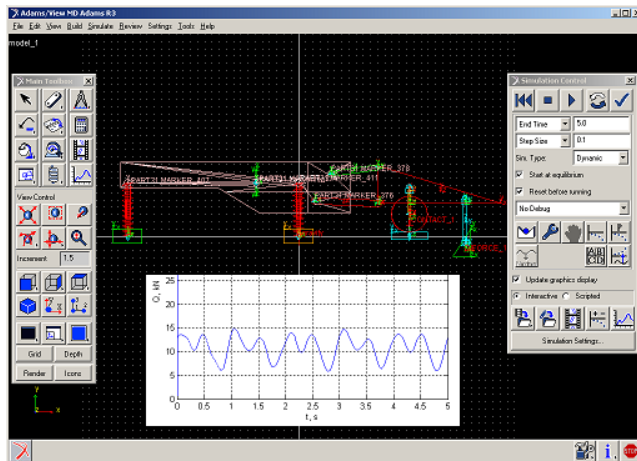
$$\psi = 0,21 \text{ rad}; \zeta = 0,3 \text{ rad}; \mu = 0,5; f = 0,2; V = 1,5 \text{ m/s}$$

- Параметри на кинематичните и на силовите смущения

$$h_o = 0,017 \text{ m}; s_o = 1,39 \text{ m}, s_1 = 1 \text{ m}; h_{03} = 0.012 \text{ m}; R_o = 1,2 \text{ kN}; v_R = 5,24 \text{ s}^{-1}$$

Численият експеримент е проведен с помощта на софтуерните системи MATLAB и MSC.ADAMS. Изследването на създадения математичен модел (1) е реализирано в MATLAB. Определени са: силите в горното и в долните рамена на навесната система; изменението на обобщените координати и скорости; нормалните реакции върху колелата на трактора; реакцията върху опорното колело на плуга.

С проведения числен експеримент в работната среда на АДАМС (фиг 2) е симулирано движението на механичната система в реално време и е записано като видео файл.

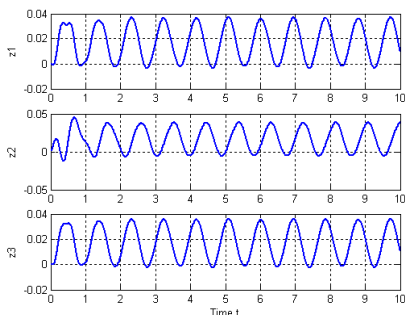


Фиг. 2. Динамичен модел в АДАМС и силата в долните рамена на навесната система

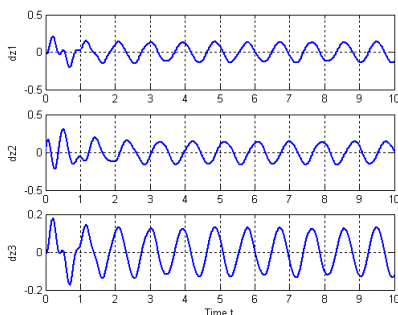
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В числения експеримент са симулирани силите в долните и в горното рамо на навесната система, вертикалната реакция върху опорното колело на плуга и реакцията върху задните колела на трактора. Поради детерминирания характер на смущаващите въздействия техният характер е предвидим – получават се като резултат от събиране (наславяване) на прости хармонични процеси.

Обобщените координати (Фиг. 2), скорости (Фиг. 3) и нормалната реакция върху задното колело на трактора (Фиг. 4) (след преодоляване на “шока” от нулевите начални условия), се установяват като регулярни хармонични процеси.

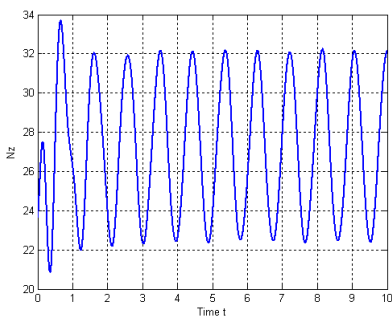


Фигура 2

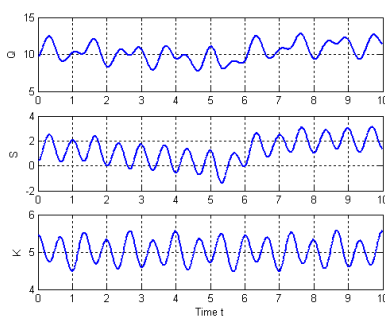


Фигура 3

Силите $S(t)$ в горното и $Q(t)$ - в долните рамена на навесната система (фиг. 5) се изменят по по-сложен начин – като събиране на хармонични процеси със съществено различаващи се кръгови честоти (каквито те всъщност не са – $\nu_1 = 6,78 \text{ s}^{-1}$; $\nu_2 = 9,42 \text{ s}^{-1}$; $\nu_R = 5,24 \text{ s}^{-1}$). Това показва, че моделът в някаква степен отразява сложния характер на силовото взаимодействие между трактора и навесената машина. В същото време, вертикалната реакция $K(t)$ върху опорното колело на плуга има характер, типичен при събиране на хармонични процеси с малко различаващи се кръгови честоти.



Фигура 4



Фигура 5

В навесните почвообработващи агрегати най-завършени конструктивно са системите за силово регулиране, в които като параметър на регулиране се използват усилията в горното рамо или сумарното усилие в долните рамена на навесната система, а също така, натоварването върху опорното колело на плуга [Лурье, 1981]. Изменението на тези процеси оказва влияние върху сцепно-

теглителните качества на трактора, буксуването на задвижващите колела, равномерността на натоварване на двигателя, устойчивото движение на работната машина и др. В този смисъл, създаването на работещ модел, който правдиво да описва динамичните процеси в навесен агрегат, може в перспектива да послужи за формулиране на интересни изследователски задачи свързани със споменатите проблеми.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Горячкин, В.П. Теория плуга.Собрание сочинений, т. 2, "Колос", 1965.
Клецкин, М.И. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин, *Машиностроение*, Москва, 1967.
- [2] Лурье,А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов, "Колос", 1981.
- [3] Хараев,П.Х. Экспериментальное определение статистических характеристик процессов при работе навесных пахотных агрегатов, *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. том 93 , 1963.
- [4] Misun, V., F. Bauer. Dynamic Load on a Tractor during ploughing, *Zemedelska Technika*, № 43, 1997, pp. 21-27.

За контакти:

Доц. д-р Стоян Стоянов, катедра "Техническа механика", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 572, e-mail: sgstoyanov@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.