

Числено симулиране на динамични процеси в навесен агрегат за оран при случайни въздействия

Стоян Стоянов, Светлин Стоянов

Numerical simulation of dynamical processes on a three-point suspension arable agricultural unit under random disturbances. With help created dynamics model of a three-point suspension system arable agricultural unit, telling off random character external influence of ground and terrain resistances, a simulation design own dynamic features carry out. As discrete random processes forces in suspension system, reactions on tractor and plough supporting wheels and vibroaccelerations are simulated. The determined correlational-spectral features were compared with experimental. The results show confirmation of the main estimation of correlational-spectral features in a satisfactory way.

Key words: discrete random process; normalized correlational-spectral features; systems for automatical regulation, MATLAB

ВЪВЕДЕНИЕ

В навесните почвообработващи агрегати най-завършени конструктивно са системите за силово регулиране, в които като параметър на регулиране се използват силите в горното рамо, сумарните сили в долните рамена на навесната система и силите върху опорното колело на плуга [7]. 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.

За създаване на системи за автоматично регулиране и управление на навесните агрегати са необходими статистически изследвания и анализ на основни силови процеси [1], [5], [6]. Информация за тях най-често се получава от експериментални полеви или лабораторни изпитвания [12].

Целта на статията е с помощта на създаден динамичен модел [9], да се симулират с числен експеримент случайни динамични процеси в агрегата и да се определят статистическите им характеристики. Получените резултати да се съпоставят с такива, получени по експериментален път.

МОДЕЛИ НА СЛУЧАЙНИТЕ КИНЕМАТИЧНИ И СИЛОВИ СМУЩЕНИЯ

Случайните въздействия върху агрегата са неравностите на полето $h(t)$, които въздействат на системата чрез опорните колела на трактора и на плуга и съпротивлението на почвата $R(t)$, въздействащо върху плужните тела, фиг. 1. Диференциалните уравнения на движение на агрегата са получени в [9], където са дадени стойностите на параметрите, с които е проведен числения експеримент.

Анализът на експериментални записи на случайните процеси (СП) $h(t)$ и $R(t)$, и на техните вероятности характеристики показва, че при установен режим те са некорелирани и принадлежат към класа на стационарните и ергодични процеси от гаусов тип [5], [6], [10].

В общ вид, такива СП могат да се представят във вида [11],

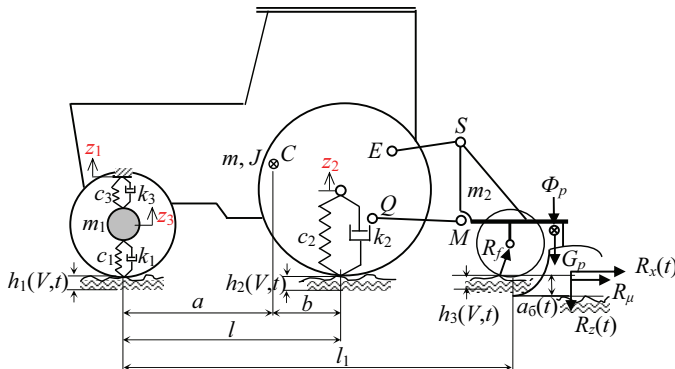
$$x(t) = m_x + \sigma_x x^\circ(t), \quad (1)$$

където m_x е математическото очакване, σ_x – средно-квадратичното отклонение, $x^\circ(t)$ – центриран СП, който е предмет на имитационно моделиране като процес със зададени корелационно-спектрални характеристики.

За целта се използват известни [2] моделиращи алгоритми (формиращ филтър), с които се извършва линейно преобразование на стационарна последователност от независими нормално разпределени псевдослучайни числа (дискретен бял шум) в последователност от корелирани дискретни стойности на

моделирания СП. Необходими параметри при моделиране на тези процеси са дисперсиите им σ^2 и коефициентите α и β на типовите дробно-рационални функции, с които се апроксимират спектралните им плътности [6].

Следва да се отбележи наличието на преходен процес в познатите формиращи филтри [7], в резултат на което се получава изкривяване в началния участък на моделирания процес. След неговото преминаване последователността се установява стационарна.



Фиг.1 Схема на агрегата

В резултат на изглаждащата способност на колелата на трактора и на плуга, случайния процес $h(t)$ се филтрира по метода на усредняването в границите на петното на контакта на опорното колело [8].

Общото (теглително) съпротивление на навесен плуг с височинно регулиране на дълбочината на браздата се състои от силите за обръщане на почвения слой $R(t)$, триенето на лемежите в стената на браздата. R_μ и съпротивлението при търкаляне на опорното колело на плуга R_f . Като СП се моделира хоризонталната компонента $R_x(t)$ на съпротивлението $R(t)$. Средната стойност на процеса ($m_R \equiv \bar{R}_x$ в (1)), е определена с формулата [3]

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

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

Вертикалната $R_z(t)$ и напречната $R_y(t)$ компонента се определят със зависимостите [4]

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

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

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

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

а за хоризонталната и за вертикалната компонента на R_f е в сила

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

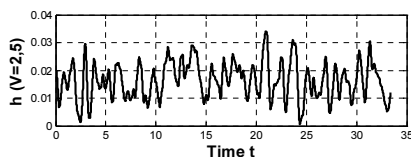
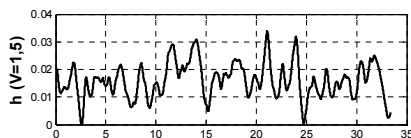
където μ е коефициент на триене при плъзгане, f – коефициент на съпротивление при търкаляне.

ЧИСЛЕН ЕКСПЕРИМЕНТ И РЕЗУЛТАТИ

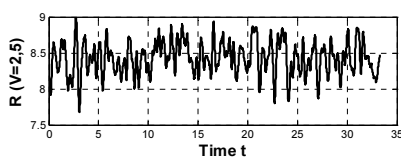
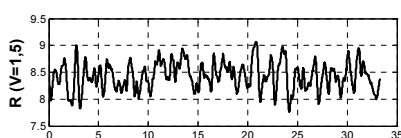
Численият експеримент е извършен в средата на MATLAB с помощта на динамичен модел на агрегат за оран [9], състоящ се от трактор МТЗ-82 и навесен трикорпусен плуг ПЛН 3-35.

Симулациите на случайните процеси на неравностите на полето и на съпротивителните сили върху плужните тела са извършени със стойности на дисперсиите им σ^2 и коефициентите α и β , които са определени при експериментални изследвания в [5], [6], [1], за да има съпоставимост на симулираните характеристики на случайните процеси с експерименталните.

На фиг. 2 и на фиг. 3 са показани числени симулации на двата процеса при скорости $V = 1,5 \text{ m/s}$ и $V = 2,5 \text{ m/s}$,

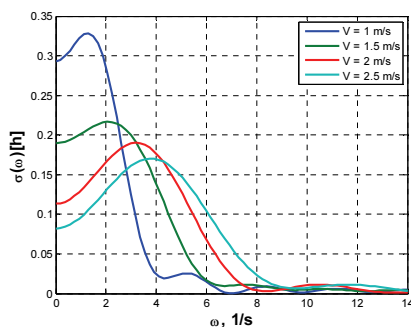


Фиг.2. Числени симулации на неравностите на полето при скорости $V = 1,5 \text{ m/s}$ и $V = 2,5 \text{ m/s}$

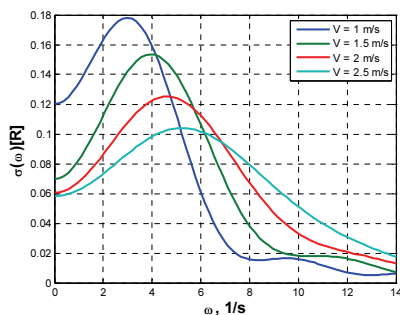


Фиг.3. Числени симулации на съпротивителните сили при скорости $V = 1,5 \text{ m/s}$ и $V = 2,5 \text{ m/s}$

а на фиг. 4 и на фиг. 5 – получените от тези числени симулации нормирани спектрални плътности при скорости $V = 1 \text{ m/s}$, $V = 1,5 \text{ m/s}$, $V = 2 \text{ m/s}$ и $V = 2,5 \text{ m/s}$.



Фиг.4. Спектрални плътности на неравностите на полето



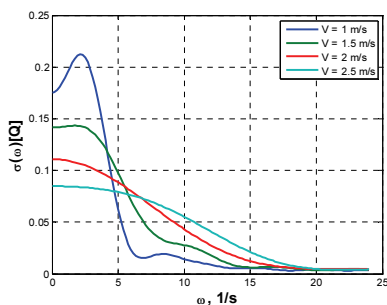
Фиг.5. Спектрални плътности на съпротивителните сили

От графиките на фиг 4 се вижда, че при скорост $V = 1 \text{ m/s}$ преобладават хармоници с честота до $3,5 - 4 \text{ s}^{-1}$ (т.н. честота на среза), като максималните дисперсии са при $\omega = 1 - 1,25 \text{ s}^{-1}$. С увеличаване на скоростта на движение спектрите на честотите се разтягат, максималните дисперсии се изместват към по-високите честоти и при скорост $V = 2,5 \text{ m/s}$ те са при $\omega = 4 \text{ s}^{-1}$, а честота на среза – при $\omega = 8 - 8,25 \text{ s}^{-1}$.

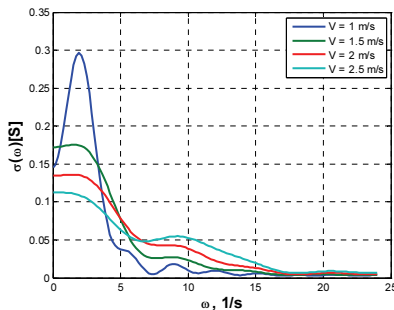
Подобни, но изместени към по-високите честоти са нормираните спектрални плътности на процеса на съпротивителните сили $R(t)$, фиг 5. При скорост $V = 1$ m/s преобладаващите хармоники достигат до честоти 7 - 8 s^{-1} , а максималните дисперсии са при $\omega = 3$ s^{-1} . При скорост $V = 2,5$ m/s спектъра на дисперсиите се е разтегнал до $\omega = 14$ s^{-1} , като максимумите са при $\omega = 5,25$ s^{-1} .

Симулациите на случайните процеси на динамичните натоварвания в агрегата: силите в долните рамената на навесната система $Q(t)$, в горното рамо $S(t)$, реакциите върху опорното колело на плуга $K(t)$, и реакциите върху задвижващите колела на трактора $N(t)$, са извършени при същите четири скорости на движение.

На фиг. 6 и на фиг. 7 са показани нормираните спектрални плътности на случайните процеси на силите $Q(t)$ и $S(t)$.



Фиг. 6. Спектрални плътности на силите в долните рамена



Фиг. 7. Спектрални плътности на силите в горното рамо

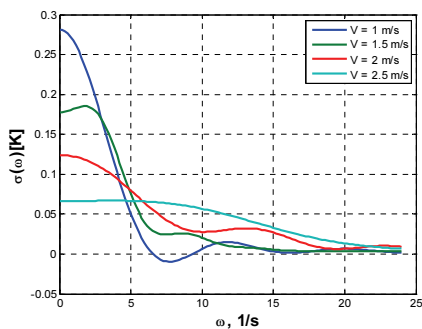
Характерът на изменение на спектралните характеристики на тези два процеса са сходни. Приликите са в приблизително еднаквите честоти на максималните спектри, изместването им към по-високите честоти при повишаване на скоростта и в близките честотни области на доминиращите дисперсии $\omega = (0 - 15)$ s^{-1} .

Забелязва се, че при $V = 2,5$ m/s, процесът $Q(t)$ е с един разтегнат спектър и се изменя несъществено в значителен диапазон на честотите ($\omega = 0 - 10$) s^{-1} . Това е характерно за случаен процес, близък до явлението "бял шум". Следователно, за значителна част от основния спектър ще преобладават безпорядъчни пулсации на натоварването. Подобен, но по-слабо изразен характер на изменение на спектралната плътност се наблюдава и за процеса $S(t)$ при скорост $V = 2,5$ m/s.

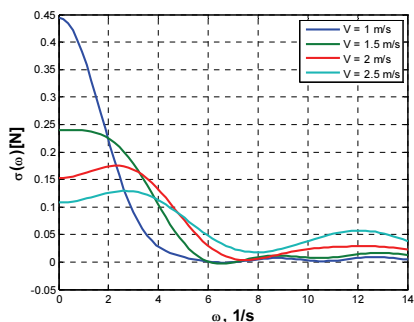
Нормираните спектрални плътности на случайните процеси на реакцията $K(t)$ върху опорното колело на плуга и на реакциите $N(t)$ върху задните опорни колела на трактора са показани на фиг 8 и на фиг 9.

Спектралните плътности на процеса $K(t)$ имат твърде голямо изменение на честотите на среза при увеличаване на скоростта. Например, при $V = 1$ m/s, горната граница на спектъра на дисперсиите е при $\omega \approx 6$ s^{-1} , а при $V = 2,5$ m/s, $\omega \approx 20$ s^{-1} . Освен това, при тази скорост, спектралната плътност е много близка до бял шум.

За процеса $N(t)$, при $V = 1$ m/s, доминиращите дисперсии са в честотния диапазон $\omega = (0 - 3,5)$ s^{-1} , а за останалите скорости $\omega = (0 - 6-7)$ s^{-1} .



Фиг.8. Спектрални плътности на реакцията върху опорното колело на плуга



Фиг.9. Спектрални плътности на реакциите върху опорните колела на трактора

При скорост $V = 2,5$ m/s, спектралната плътност се изменя подобно на бял шум, но в един тесен честотен диапазон $\omega = (0 - 5) \text{ s}^{-1}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работата е предложен рационален модел на машинно-тракторен агрегат, с който могат правдоподобно да се моделират случайните процеси на динамични характеристики на агрегата, имащи отношение към технологични, енергетични и др. показатели. Численото им симулиране и определянето на статистическите характеристики имат съществено значение при решаване както на задачи от общата динамика на земеделските машини и агрегати, така и за усъвършенстване и създаване на нови системи за автоматично регулиране и управление.

Основните параметри и тенденции на симулираните с модела случайни динамични процеси и на корелационно-спектралните им характеристики се потвърждават от редица експериментални изследвания в [5], [6], [10].

От получените резултати за спектралните плътности на изследваните процеси се вижда как агрегата като динамична система преобразува смущаващите въздействия. Проследявайки характера на изменение на спектралните плътности на неравностите на полето $h(t)$ и на силовите процеси се вижда, че всички силови процеси имат по-разтегнати спектри на честотите. Диапазона на честотите е по висок от този на входния процес. Това показва, че динамичната система неудовлетворително преобразува входното въздействие $h(t)$.

Численият експеримент потвърждава в качествено отношение и някои други особености. Например, изместването на максимумите на спектралните плътности към по-високите честоти с увеличаването на скоростта и доближаване на спектралните плътности на някои процеси до бял шум.

Подходът може да се използва както за решаване на аналогични задачи при други земеделски агрегати, така също за моделиране на циклични натоварвания и за обосноваване на режими при ускорени изпитвания.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Агеев, Л.Е. Основы расчета оптимальных допускаемых режимов работы машино-тракторных агрегатов, Ленинград, "Колос", 1987.
- [2] Быков, В.В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике, Москва, "Советское радио", 1971.
- [3] Горячкин, В.П. Теория плуга. Собрание сочинений, т. 2, "Колос", 1965.
- [4] Клецкин, М.И. (ред.), Справочник конструктора сельскохозяйственных машин, Машиностроение, Москва, 1967.
- [5] Лурье, А.Б. Динамика регулирования навесных сельскохозяйственных агрегатов, Машиностроение, Москва, 1969.
- [6] Лурье, А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов, "Колос", 1981.
- [7] Росин, М.Ф., В.С. Булыгин. Статистическая динамика и теория эффективности систем управления, Москва, "Машиностроение", 1972.
- [8] Степанов, Ю.В. и др. К вопросу расчета случайных колебаний тракторов с учетом нивелирующей способности шин, *Тракторы и сельхозмашины*, №8, 1976, с. 12-15.
- [9] Стоянов, Св., С. Стоянов. Моделиране и изследване на динамични процеси в навесен почвообработващ агрегат, Научни трудове на Русенския университет, том 49, серия 2, 2010, с. 70 - 75.
- [10] Хараев, П.Х. Экспериментальное определение статистических характеристик процессов при работе навесных пахотных агрегатов, *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. том 93, 1963, с. 334 - 342.
- [11] Шалыгин, А.С., Ю.П. Палагин. Прикладные методы статистического моделирования, Петербург, "Машиностроение", 1986.
- [12] Misun, V., F. Bauer. Dynamic Load on a Tractor during ploughing, *Zemедelska 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



РУСЕНСКИ УНИВЕРСИТЕТ „АНГЕЛ КЪНЧЕВ”
UNIVERSITY OF RUSE „ANGEL KANCHEV”

ДИПЛОМА

Програмният комитет на
Научната конференция RU&SU'11
награждава с КРИСТАЛЕН ПРИЗ
“THE BEST PAPER”

СЛАВЧО ТОПАЛСКИ, ВЕНЕЛИН ДУНИЦОВ
автори на доклада

**“Покрития на базата на Cu-Al-Ni сплави
с ефект на памет на формата”**

DIPLOMA

*The Programme Committee of
the Scientific Conference RU&SU'11
Awards the Crystal Prize
"THE BEST PAPER"*

to SLAVCHO TOPALSKI, VENELIN DUNITCOV
authors of the paper

**“Thin films with shape memory effect,
based on Cu-Al-Ni alloys”**

ПЕКТОР
RECTOR

доц. д-р т.н Христо Белоев
Prof. DSc Hristo Beloev

29.10.2011