

Key words: *passenger transport, innovation, transport process, route, carrier, regulated tariff, profit, economically reasonable tariff*

УДК 631.315:629.783:525

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ДВОФАЗНОЇ СОШНИКОВОЇ СИСТЕМИ

**Л. В. Аніскевич, доктор технічних наук
Ю. О. Росамаха, здобувач***
**Національний університет біоресурсів і
природокористування України
e-mail: l-anisk@meta.ua**

Анотація. *Проведено імітаційне моделювання можливостей двофазної сошникової системи виконувати заданий режим роботи при зміні таких параметрів, як, амплітуда і частота надходження нерівностей до сошникової системи, маси елементів системи, коефіцієнтів затухання, підсилення тощо, при наявності систематичних та випадкових похибок вимірювальних та контролюючих елементів.*

На роботу вдавлюючого диска сошникової системи значною мірою впливають систематичні та шумові похибки вимірювань кінематичних режимів роботи машинно-тракторного агрегату та датчиків зворотних зв'язків, що обумовлює підвищені вимоги до параметрів електромеханічних (пневматичних) елементів системи регулювання. Представлена методика імітаційного моделювання процесу функціонування двофазного сошника дозволяє обґрунтувати інваріантну до дії реакції ґрунту на вдавлюючий диск систему з ustalеними і заданими режимами копіювання нерівностей поверхні поля. Для випадку керування положенням вдавлюючого диска сошникової системи пневмоприводним механізмом, оптимальними параметрами системи регулювання є: жорсткість пружини $c_U = 360 \text{ кґ/см}$, коефіцієнт демпфування $d = 120 \text{ Нс/м}$, стала часу, коефіцієнт затухання і підсилення модуля управління пневмоприводом відповідно $T = 0,1 \text{ с}$, $\xi = 0,1$, $K = 4,9$.

Ключові слова: *моделювання, двофазна сошникова система, модель функціонування, оптимальний режим*

*Науковий керівник – доктор технічних наук Л. В. Аніскевич

© Л. В. Аніскевич, Ю. О. Росамаха, 2017

Постановка проблеми. Аналіз стану сучасних сошникових систем [1] показує, що ефективність роботи існуючих на сьогодні однофазних сошників досягається на вузькому діапазоні технологічних параметрів функціонування і глибина заробки насіння при цьому не є стабільною і заданою. Тому важливо застосовувати двофазні сошникові системи. Наприклад, автоматизована двофазна сошниковая система (рис. 1) забезпечує можливість працювати за технологіями точного землеробства і підтримувати заданий режим роботи в широкому діапазоні технологічних умов функціонування.

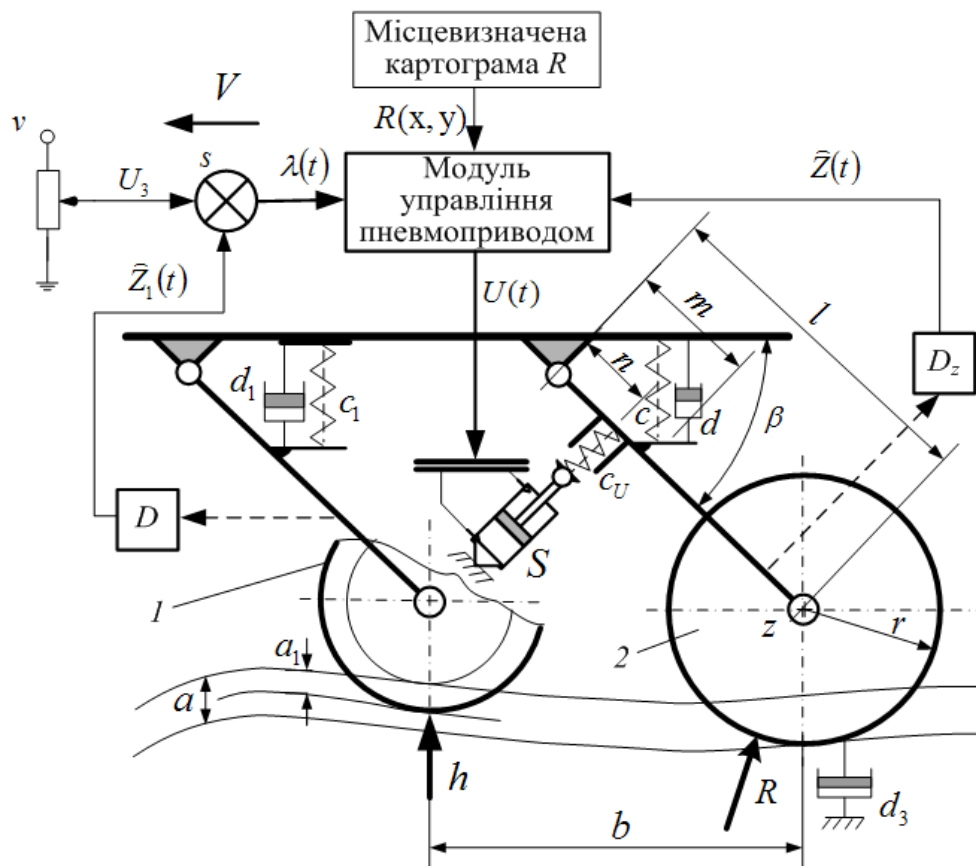


Рис. 1. Двофазна сошниковая система з автоматизованою системою корекції положення вдавлюючого диска 2.

Положення щілиноутворювача 1 контролюється датчиком положення D , сигнал від якого подається на суматор s . До суматора подається також сигнал ручного налаштування U_3 , а на виході маємо сигнал $\lambda(t)$, який подається до модуля управління сервоприводом. До цього модуля також подається сигнал зворотного зв'язку $\bar{Z}(t)$ від датчика положення вдавлюючого диска 2. Структурна схема автоматизованої системи корекції положення вдавлюючого диска представлена на (рис. 2).

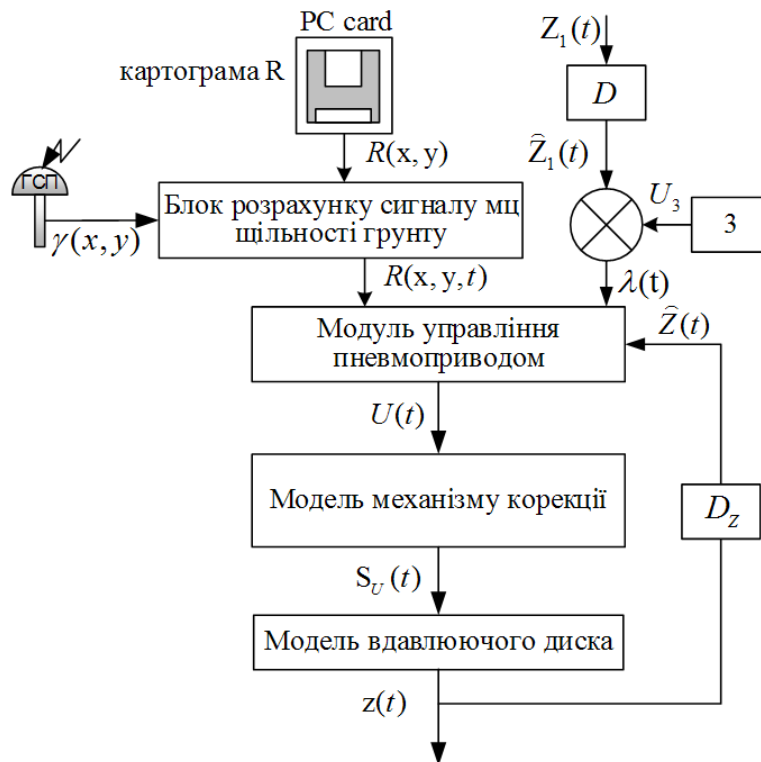


Рис. 2. Структурна схема автоматизованої системи корекції положення вдавлюючого диска.

До блоку розрахунку сигналу місцевизначеної щільності ґрунту від блоку зчитування (PC card) картограми стану ґрунту надходить сигнал $R(x, y)$. До цього ж блоку надходить сигнал $\gamma(x, y)$ від датчика глобальної системи позиціонування (ГСП). Вихідним сигналом цього блоку є нормалізований по амплітуді і синхронізований із світовими координатами сигнал $R(x, y, t)$.

В якості сигналу для слідкування (цілі функціонування) виступає вихідний сигнал $\lambda(t)$. Цей сигнал формується як результат подачі до суматора сигналів $\hat{Z}_1(t)$ датчика D контролю положення щілиноутворювача та $\hat{Z}(t)$ від датчика зворотного зв'язку D_z , що контролює положення вдавлюючого диска. Для ручного регулювання положення вдавлюючого диска відносно щілиноутворювача слугує задатчик 3 із вихідним сигналом U_3 .

Ціль функціонування досягається, з одного боку, шляхом організації руху щілиноутворювача на глибині a_1 , а також шляхом дії пневмопривода на повідець радіального підвісу вдавлюючого диска (контролюється датчиком D_z) з вихідним сигналом зворотного зв'язку $\hat{Z}(t)$. В результаті на виході системи маємо кінцеву глибину заробки насіння $z(t)$.

Якість функціонування сошникової системи можна оцінювати похибкою відхилення оцінки $\hat{z}(t)$ дійсної глибини ходу вдавлюючого диска від заданої $\delta_3(t)$ на заліковому періоді T функціонування сошника:

$$I = \int_0^T \Delta^2 dt, \quad (1)$$

де: $\Delta = \delta_3(t) - \hat{z}(t)$ – похибка виконання завдання.

Аналіз останніх досліджень. В роботі [2] представлена математична модель функціонування двофазної сошникової системи для технологій точного землеробства. Для оптимізації динамічних параметрів такої системи і режимів її функціонування необхідно провести імітаційне моделювання роботи системи за різних умов діючих факторів і збурень.

Мета досліджень. Метою імітаційного моделювання є визначення можливостей двофазної сошникової системи виконувати заданий режим роботи при зміні таких параметрів функціонування, як, наприклад, амплітуда і частота надходження нерівностей до сошникової системи, маса щілиноутворювача та вдавлюючого дисків, коефіцієнт затухання ξ , коефіцієнт підсилення K тощо, при наявності систематичних та випадкових похибок вимірювальних та контролюючих елементів.

Результати досліджень. Імітаційне моделювання процесу керування глибиною ходу вдавлюючого диска проводилось в середовищі Simulink програмного продукту MatLAB [3]. На рис. 3 подана модель функціонування сошникової системи з корекцією положення вдавлюючого диска.

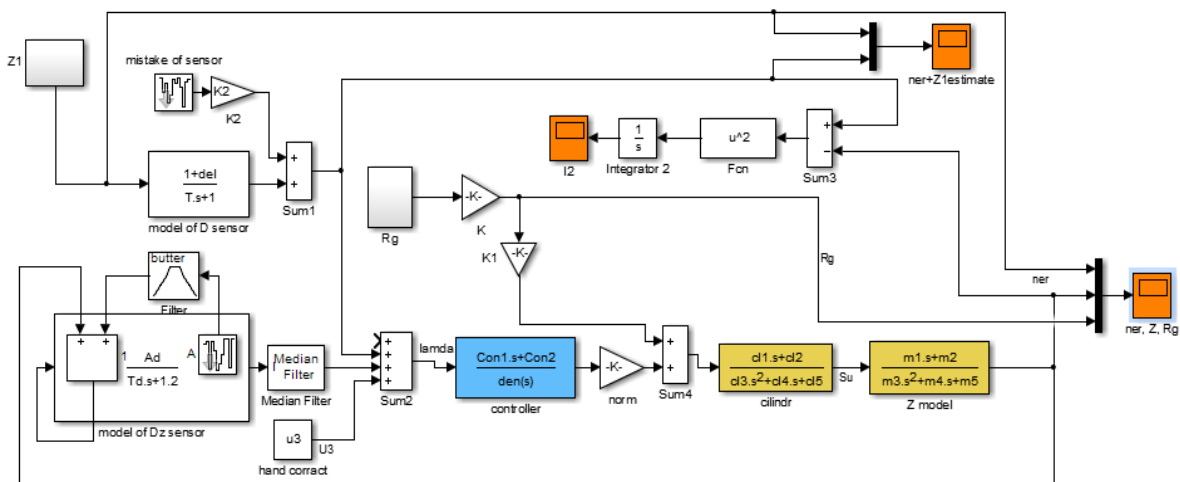


Рис. 3. Модель функціонування сошникової системи з корекцією положення вдавлюючого диска у середовищі Simulink.

Як відомо, вихідний сигнал датчика положення щілиноутворювача і вдавлюючого диска значною мірою залежить від рівня закладених в конструкцію датчика параметрів, а значить і від його вартості. На першому етапі моделювання поставлена задача дослідити, як впливають систематична та випадкова складові помилки функціонування датчика положення щілиноутворювача на його вихідний сигнал і якість функціонування вдавлюючого диска без урахування складової реакції ґрунту на щілиноутворювач.

Масив вихідних даних, необхідних для розв'язку моделі функціонування за рис. 3 подано в табл. 1.

1. Конструктивні параметри сошникової системи для двофазного способу сізби.

Параметр	Значення	Параметр	Значення	Параметр	Значення
b_1 , рад.	0,55	I_1 , кг м ²	0,7	c_2 , кН/м	300
b_2 , рад.	0,55	I_2 , кг м ²	0,6	c_3 , кН/м	800
h , м	0,03	R_1 , м	0,14	c_U , кН/м	900
M_1 , кг	10	R_2 , м	0,18	d_1 , Н с/м	350
M_2 , кг	12	c_1 , кН/м	100	d_g , Н с/м	350
R_{cz1} , Н	85	R_{cz2} , Н	90	R_{cx1} , Н	10
R_{cx2} , Н	15	l_1 , м	0,4	l_2 , м	0,5
m , м	0,2	m_2 , м	0,2	s_1 , м	0,15
s_2 , м	0,1	r_1 , м	0,15	r_2 , м	0,15

Передаточну функцію моделі датчика положення щілиноутворювача представимо у вигляді:

$$W_d = \frac{A_d}{T_d s + 1} \quad (2)$$

де: $A_d = 1 + \Delta_d(t) + \xi_d(t)$; $\Delta_d(t)$ та $\xi_d(t)$ – систематична та випадкова складові відносної помилки функціонування датчика; T_d – стала часу датчика.

Значення $\Delta_d(t)$ та $\xi_d(t)$ оберемо такими, що відповідають низькій якості роботи датчика положення щілиноутворювача, наприклад, 0,1 і 0,15 відповідно. Тоді маємо наступні результати функціонування системи. На рис. 4 представлені графіки зміни вхідного і вихідного сигналу датчика положення щілиноутворювача впродовж 20 секунд. Зашумлений вихідний сигнал датчика положення щілиноутворювача значною мірою впливає на роботу

вдавлюючого диска (рис. 5), тобто на процес заробки насіння на задану глибину, реалізація якого повинна бути еквідистантною лінією до нерівностей поверхні поля. Причому похибка відхилення оцінки дійсної глибини ходу вдавлюючого диска від заданої склала $0.53 \cdot 10^{-3}$.

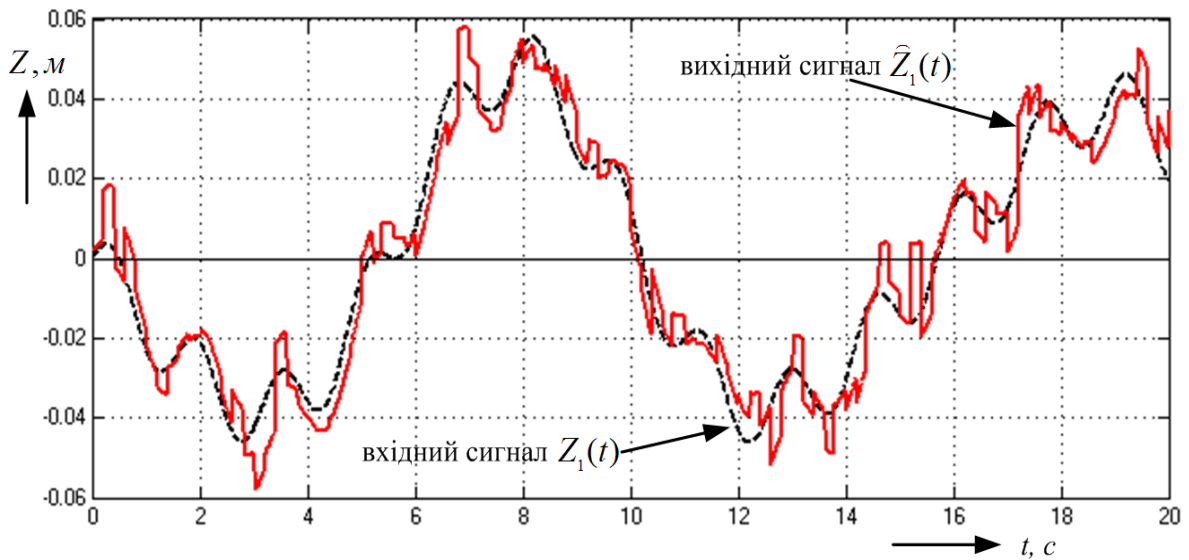


Рис. 4. Вхідний і вихідний сигнал датчика положення щілиноутворювача.

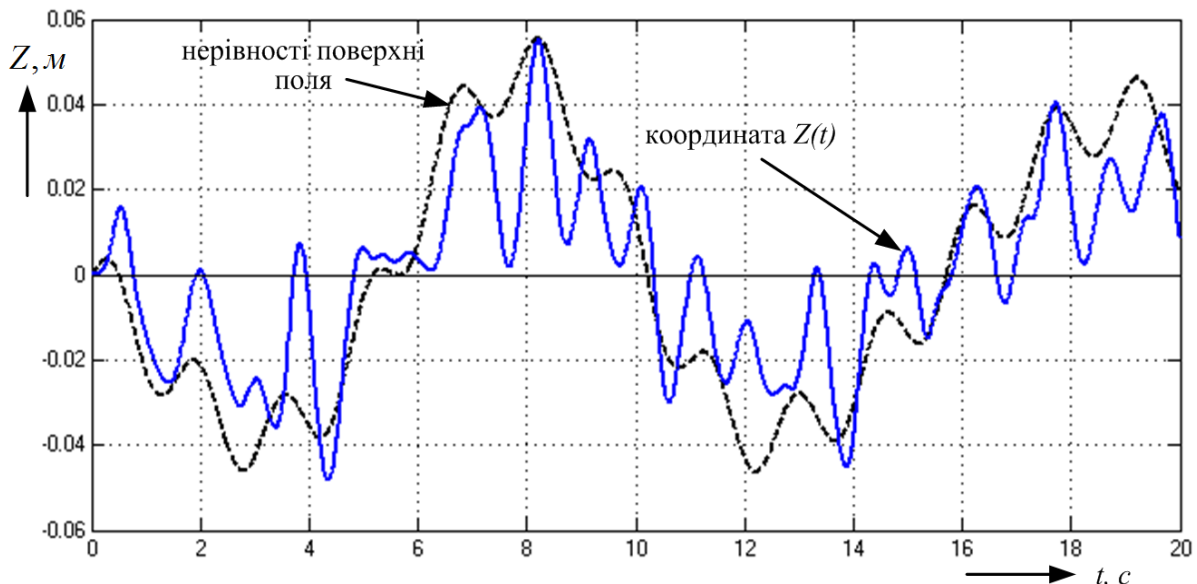


Рис. 5. Нерівності поверхні поля і глибина ходу $Z(t)$ вдавлюючого диска.

Наведені дані свідчать про те, наскільки важливо використовувати в конструкції двофазного сошника якісні датчики положення. При зменшенні систематичної і випадкової складових відносної помилки функціонування датчика до величин 0,02 і 0,015

відповідно, якість досліджуваних процесів значно покращилась (рис. 6).

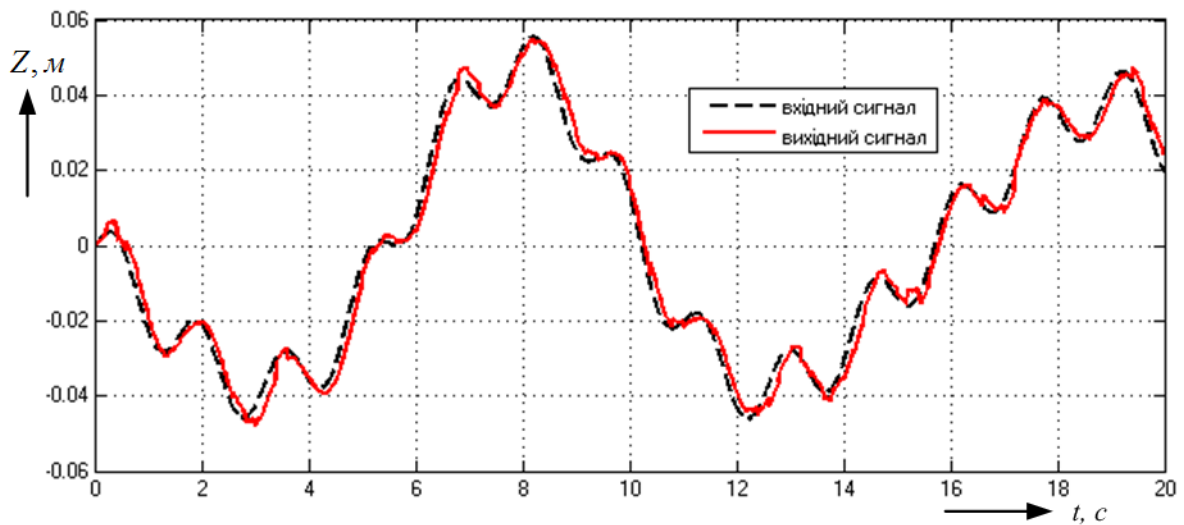


Рис. 6. Вхідний і вихідний сигнал датчика положення щілиноутворювача після оптимізації його параметрів.

Позитивно відбилося це і на величині похибки відхилення оцінки дійсної глибини ходу вдавлюючого диска від заданої, яка зменшилась до $0.3 \cdot 10^{-3}$.

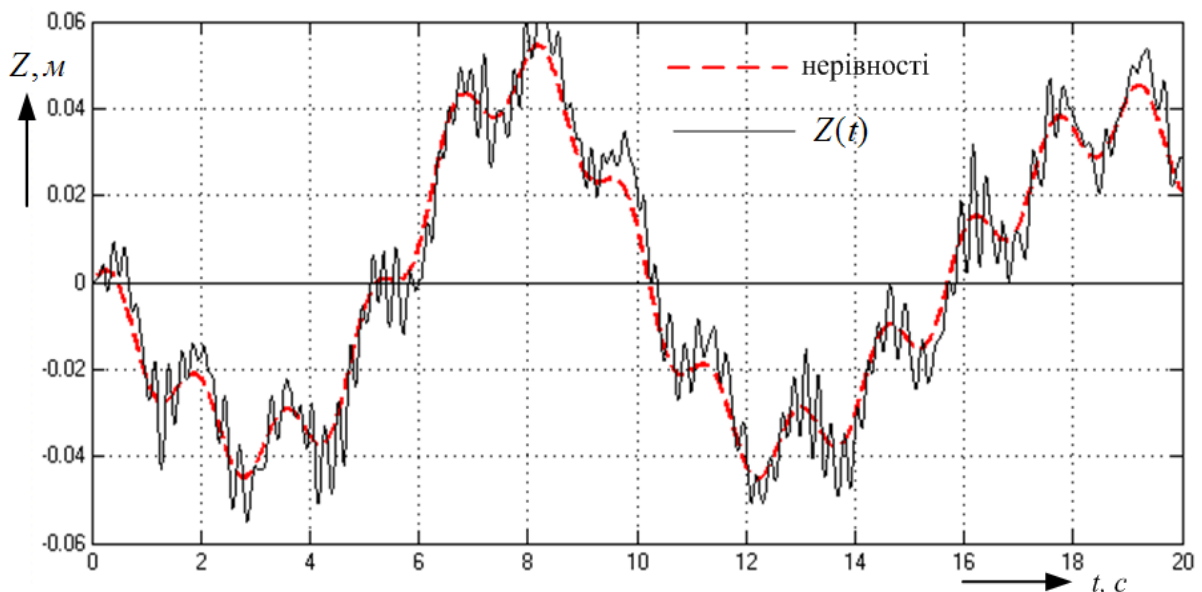


Рис. 7. Нерівності поверхні поля і координата $Z(t)$ при використанні датчика положення вдавлюючого диска з великим рівнем шуму вихідного сигналу.

Надалі проаналізуємо, як впливають систематичні та випадкові помилки функціонування датчика положення вдавлюючого диска на якість функціонування останнього. По аналогії з подібним аналізом,

щодо датчика положення щілиноутворювача (рис. 5, рис. 6), оберемо значення помилок, що відповідають неякісному і якісному датчику положення. На рис. 7 представлені графіки зміни вхідного і вихідного сигналу датчика положення вдавлюючого диска з великим рівнем шуму вихідного сигналу.

Наявність високочастотних шумових складових збільшує дисперсію помилки регулювання, приводять систему до нестійкого режиму роботи.

Для зменшення впливу збурень в практичних ситуаціях застосовують два основних способи: зменшення коефіцієнта підсилення регулятора, тобто, фактично, перехід на інтегральний закон регулювання, який малочутливий до шумів та фільтрації вимірюваного сигналу.

В даному випадку застосована фільтрація високочастотних (в порівнянні з основним сигналом) збурень. У загальному випадку, для багатомірних систем, задача оптимальної фільтрації вирішується за допомогою фільтру Калмана. Цей фільтр, разом з отриманням оцінок вектора стану об'єкта, забезпечує мінімальну дисперсію всіх його компонентів. Проте, для розрахунку параметрів фільтру, необхідне знання статистичних характеристик шумів, що в реальних умовах ускладнено. Крім того, в загальному випадку, задача фільтрації суперечлива, оскільки спектри збурення і шуму можуть накладатися один на одне. Це протиріччя вирішене шляхом застосування медіанного фільтру (Median filter, рис. 3).

Такий фільтр замінює центральне значення прилеглої області значень функції на його серединне значення. Для компенсації втрат розмаху сигналу на виході фільтра збільшено величину коефіцієнта підсилення модуля управління сервоприводом. При виконанні означених умов і застосуванні датчика з мінімальним рівнем шуму, графіки зміни вхідного і вихідного сигналу датчика положення вдавлюючого диска показані на рис. 8.

Наступним кроком імітаційного моделювання стала задача оцінки впливу щільності ґрунту (основна складова реакції ґрунту на щілиноутворювач) на якість функціонування вдавлюючого диска. Цей вплив важливо проаналізувати, тому що вимірювання щільності ґрунту в польових умовах показало, що цей показник варіює в дуже широких межах.

За умов використання означених вище значень динамічних параметрів двофазної сошнікової системи, результат розв'язання процесу її функціонування у відповідності до структурної схеми автоматизованої системи корекції положення вдавлюючого диска показано на рис. 9.

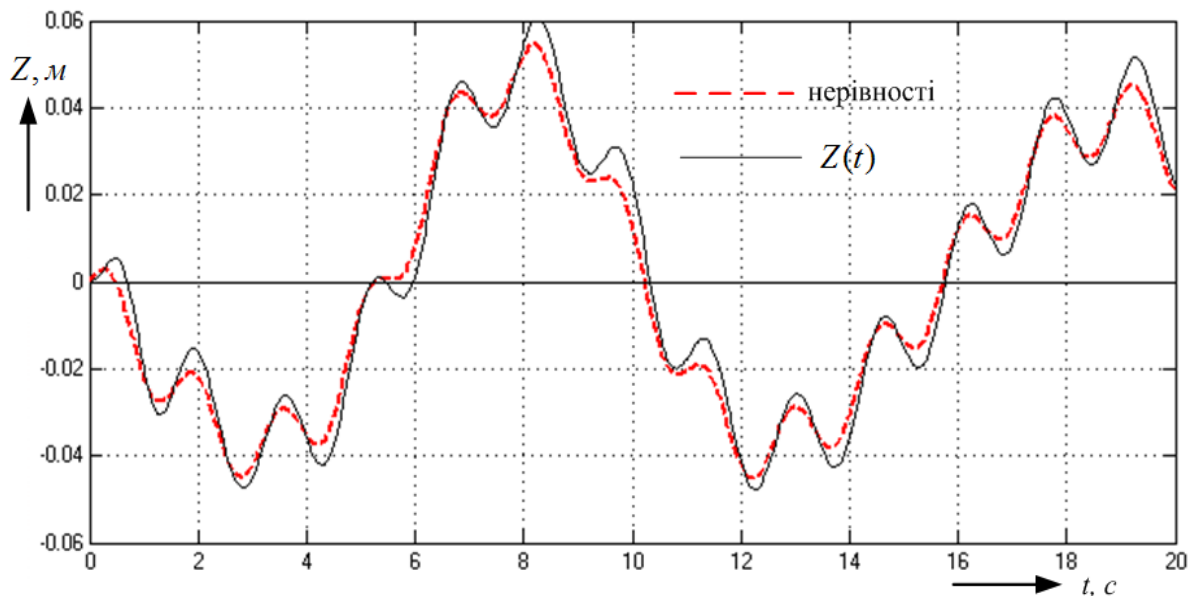


Рис. 8. Нерівності поверхні поля і координата $Z(t)$ при роботі з якісним датчиком положення вдавлюючого диска.

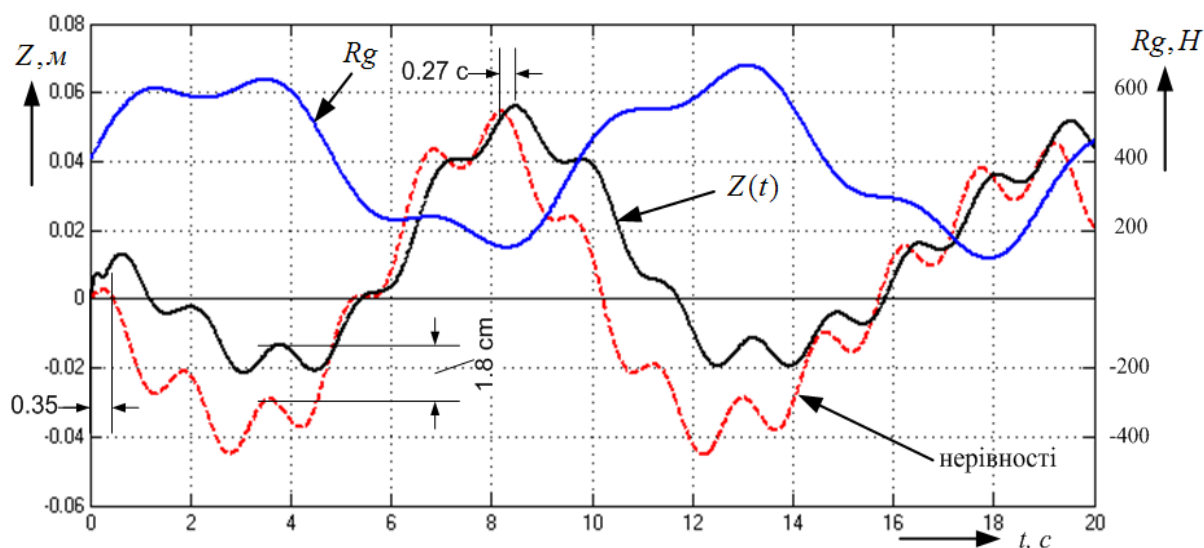


Рис. 9. Координата $Z(t)$ положення вдавлюючого диска, нерівності поверхні поля та величина сили опору ґрунту R_g .

Із рис. 9 видно, що механізм функціонування вдавлюючого диска (координата $Z(t)$) має на початку роботи перехідний процес у 0,35 с. Крім того має місце фазовий зсув у копіюванні нерівностей поверхні поля у 0,27 с, що, наприклад, при швидкості руху сівалки 2 м/с відповідає копіюванню з сувом близько у 0,54 м. Не витримується, також, задана амплітуда коливань вдавлюючого диска. Наприклад, на відріжку часу з 3-ї по 9-ту секунду амплітуда коливань нерівностей складає 9,8 см, проте як амплітуда коливань вдавлюючого диска на цьому ж проміжку часу складає всього 7,5 см.

Похибка I відхилення оцінки $\hat{z}(t)$ глибини ходу вдавлюючого диска від заданої на заліковому періоді 20 с функціонування сошникової системи склала близько $1,1 \times 10^{-3}$.

Але найбільш суттєвим моментом є негативний вплив реакції ґрунту R_g на процес копіювання нерівностей. Як бачимо (рис. 9), відбувається «спливання» вдавлюючого диска з порушенням процесу копіювання до 1,8 см.

Бажано мати інваріантну до дії реакції ґрунту на вдавлюючий диск систему з усталеними і заданими режимами копіювання нерівностей поверхні поля. Комп'ютерне імітаційне моделювання дозволило визначити впливові фактори для досягнення поставленого завдання. Основними з таких факторів стали жорсткість пружини c_U (рис. 1), коефіцієнт демпфування d , а також стала часу, коефіцієнти затухання і підсилення модуля управління пневмоприводом. При величинах $c_U = 360 \text{ кг/см}$, $d = 120 \text{ Н/с/м}$, $T = 0,1 \text{ с}$, $\xi = 0,1$, $K = 4,9$ процес функціонування системи представлено на рис. 10.

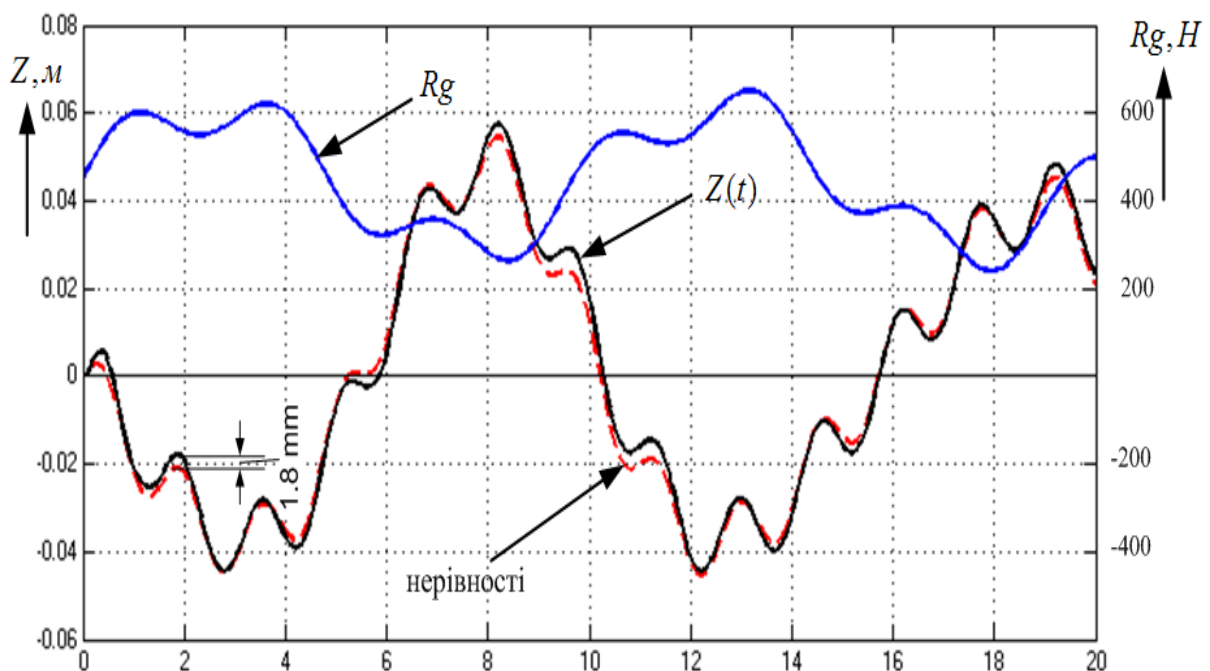


Рис. 10. Функціонування оптимізованої двофазної сошникової системи.

Похибка I відхилення оцінки глибини ходу вдавлюючого диска від заданої на заліковому періоді T функціонування сошника склала $1,5 \times 10^{-4}$.

В цілому, виконання завдання з дотримання заданої глибини ходу сошникової системи виконується задовільно. Динамічні

параметри системи підібрані таким чином, що зміни місцевизначеної щільності ґрунту (через параметр R_g) не завдають суттєвого впливу на стабільність ходу двофазного сошника. Ефект «спливання» вдавлюючого диска під дією реакції R_g зведено до мінімуму і не перевищує 0,18 см. Відсутній, також, фазовий зсув у копіюванні нерівностей поверхні поля.

Висновки

1. На роботу вдавлюючого диска сошникової системи значною мірою впливають систематичні та шумові похибки вимірювань кінематичних режимів роботи МТА та датчиків зворотних зв'язків, що обумовлює підвищені вимоги до параметрів електромеханічних (пневматичних) елементів системи регулювання.

2. Представлена методика імітаційного моделювання процесу функціонування двофазного сошника дозволяє обґрунтувати інваріантну до дії реакції ґрунту на вдавлюючий диск систему з усталеними і заданими режимами копіювання нерівностей поверхні поля.

3. Для випадку керування положенням вдавлюючого диска сошникової системи пневмоприводним механізмом, оптимальними параметрами системи регулювання є: жорсткість пружини $c_v = 360 \text{ кг/см}$, коефіцієнт демпфування $d = 120 \text{ Нс/м}$, стала часу, коефіцієнт затухання і підсилення модуля управління пневмоприводом відповідно $T = 0,1 \text{ с}$, $\xi = 0,1$, $K = 4,9$.

Список літератури

1. Аніскевич Л., Росамаха Ю. Анализ функционирования двухфазной сошниковой системы для посева пропашных культур. MOTROL. 2015. Vol. 17. No 3. P. 46–55.
2. Аніскевич Л. В. Аналіз функціонування двофазного сошника для технологій точного землеробства. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2015. Вип. 212, ч. 1. С. 34–44.
3. Терехин В. В. Основы моделирования в MATLAB. Часть 2. Simulink. Новокузнецк. Кузбассвузиздат. 2004. 302 с.

References

1. Aniskevich, L., Rosamaha, Yu. (2015). Functional Analysis of two-phase systems Coulter for sowing row crops. MOTROL. Vol. 17. No 3. 46–55.
2. Aniskevich, L. V. (2015). Analysis of functioning of two-phase opener for precision agriculture technologies. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kiev. Vol. 212, part 1. 34–44.
3. Terekhin V. V. (2004). Fundamentals of modeling in MATLAB. Part 2. Simulink. Novokuznetsk. Kuzbassvuzizdat. 302.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДВУХФАЗНОЙ СОШНИКОВОЙ СИСТЕМЫ

Л. В. Анискевич, Ю. А. Росамаха

Аннотация. Проведено имитационное моделирование возможностей двухфазной сошниковой системы выполнять заданный режим работы при изменении таких параметров, как амплитуда и частота поступления неровностей до сошниковой системы, массы элементов системы, коэффициентов затухания, усиления, при наличии систематических и случайных погрешностей измерительных и контролируемых элементов.

На работу вдавливающего диска сошниковой системы в значительной степени влияют систематические и шумовые погрешности измерений кинематических режимов работы машинно-тракторного агрегата и датчиков обратных связей, что обуславливает повышенные требования к параметрам электромеханических (пневматических) элементов системы регулирования.

Представлена методика имитационного моделирования процесса функционирования двухфазного сошника позволяет обосновать инвариантную к действия реакции почвы на вдавливающий диск систему с устоявшимися и заданными режимами копирования неровностей поверхности поля. Для случая управления положением вдавливающего диска сошниковой системы пневмоприводным механизмом, оптимальными параметрами системы регулирования являются: жесткость пружины $c_{\text{п}}=360$ кг/см, коэффициент демпфирования $d=120$ Нс/м, постоянная времени, коэффициент затухания и усиления модуля управления пневмоприводом в соответствии $T=0,1$ с, $\xi=0,1$, $K=4,9$.

Ключевые слова: моделирование, двухфазная сошниковая система, модель функционирования, оптимальный режим

SIMULATION OF PROCESSES OF FUNCTIONING OF TWO-PHASE SYSTEM COULTER

L. V. Aniskevich, Yu. O. Rosamaha

Abstract. Conducted simulation modeling possibilities of two-phase coulter system to perform the specified operation mode when changing parameters such as the amplitude and frequency of receipt of roughness coulter system, the masses of the system elements, the coefficients of attenuation, amplification, in the presence of systematic and random errors of the measuring and control elements.

To work davlyatova disk coulter system is largely affected by noise and systematic measurement errors of kinematic operating modes of machine and tractor unit and sensors of feedback, which leads to the

increased requirements for the electromechanical (pneumatic) elements of the regulatory system.

The presented method of simulation of the operation of two-phase opener provides justification invariant to the action-reaction of the soil on drive system with an established and desired copy modes, the surface roughness of the field. For the case of position control davlyatova disk coulter system pneumoperitoneum mechanism, the optimal parameters of the regulation system are: spring stiffness $c_u=360$ kg/cm, damping coefficient $d=120$ Ns/m, time constant, damping coefficient and the gain control module actuator according $T=0.1$ s, $\xi=0.1$, $K=4.9$.

Key words: modeling, two-phase coulter system, model of operation, optimum mode

УДК 534

ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕГРАЛУ ДЮАМЕЛЯ У АНАЛІЗІ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ МАШИН

**Ю. В. Човнюк, І. М. Сівак, кандидати технічних наук
Національний університет біоресурсів і
природокористування України**

М. І. Діхтерук

**Київський національний університет будівництва і
архітектури**

e-mail: sivakim@ukr.net

Анотація. Для визначення динамічних навантажень у пружному елементі (канаті) механізму підйому вантажу крана використана двомасова модель. Визначення коефіцієнта динамічності та пружної сили, яка виникає у канаті у процесі підйому вантажу («з підхватом» чи «з ваги»), здійснено за допомогою інтегралу Дюамеля. У якості необхідних режимів руху приводних механізмів підйому вантажу на ділянках перехідних процесів використані ті, що обгрунтовані в роботі як оптимальні. Обгрунтована динамічна модель навантажень пружних елементів вантажопідйомних машин при використанні різних способів підйому вантажу («з ваги», «з підхватом» з землі), на основі якої проведений конкретний аналіз залежності коефіцієнта динамічності від часу при використанні інтегралу Дюамеля.

© Ю. В. Човнюк, І. М. Сівак, М. І. Діхтерук, 2017