

ТАВРІЙСЬКА ДЕРЖАВНА АГРОТЕХНІЧНА АКАДЕМІЯ

Дюжаєв Володимир Петрович

УДК 631.312.32:001.57

**ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА
КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРУЖНОЇ
ПІДВІСКИ КОРПУСУ ПЛУГА**

05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського
виробництва

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Мелітополь – 2007

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Таврійській державній агротехнічній академії Міністерства аграрної політики України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент **Рогач Юрій Петрович**, Таврійська державна агротехнічна академія, проректор з науково-педагогічної роботи.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, доцент, **Ковбаса Володимир Петрович**, Національний аграрний університет, завідувач кафедри сільськогосподарського машинобудування та обладнання лісового комплексу;

кандидат технічних наук, доцент, **Волик Борис Анатолійович**, Дніпропетровський державний аграрний університет, кафедра сільськогосподарських машин.

Провідна установа: Луганський національний аграрний університет, Міністерства аграрної політики України, м. Луганськ.

Захист відбудеться 20.04.07 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 18.819.01 в Таврійській державній агротехнічній академії за адресою: 72312, Запорізька обл., м. Мелітополь, пр. Б.Хмельницького, 18, навчальний корпус 1, зал засідань вченої ради академії.

Автореферат розісланий 5 березня 2007 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук, професор

В.Т. Діордієв

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В технологічному процесі виробництва сільськогосподарських культур значне місце займають операції основної обробки ґрунту, які є найбільш енергомістськими. Тому зниження енерговитрат при обробці ґрунту плугом є важливою задачею. Досягнути цього можливо застосуванням вібраційних методів інтенсифікації технологічного процесу. Для цього різними авторами були розроблені і досліджені конструкції плугів з примусовою вібрацією, які зменшували тяговий опір ґрунтообробного знаряддя. Також були розроблені конструкції пружного закріплення робочих органів до рами, в результаті чого робочий орган здійснює коливання, що збуджуються нерівномірністю опору ґрунту. В існуючих дослідженнях параметри пружних підвісок підбирались, як правило, експериментальними методами, що не давало можливості налагоджувати систему на оптимальний режим роботи на полях з різноманітною твердістю ґрунту. Тому дослідження, які спрямовані на розробку методів, методик і алгоритмів моделювання динаміки взаємодії корпусу плуга на пружній підвісці з ґрунтом, та оптимізації параметрів пружної підвіски з метою підвищення продуктивності ґрунтообробних знарядь, зниження енергетичних витрат, є актуальною задачею.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами.

Дослідження виконувались в Таврійській державній агротехнічній академії відповідно до плану науково – дослідних робіт „Розробка наукових систем, технологій і технічних засобів для забезпечення продовольчої безпеки Південного регіону України” (державний реєстраційний номер 0102U000678), які виконувались відповідно „Програми розвитку на Україні машинобудування і забезпечення сільськогосподарського виробництва машинами і обладнанням для комплексної механізації технологічних процесів у виробництві рослин”.

Мета і задачі дослідження. *Мета дослідження* – визначення раціональних параметрів пружної підвіски корпусу плуга, що забезпечує зниження енергомісткості обробку ґрунту і високу якість технологічного процесу.

Для досягнення цієї мети поставлено наступні *задачі дослідження*:

1. Експериментально дослідити тяговий опір корпусу плуга, як вихідний показник динамічної системи „корпус плуга на пружній підвісці – ґрунт”.
2. Експериментально визначити опір ґрунту, як вхідну дію динамічної системи „корпус плуга на пружній підвісці – ґрунт”.
3. Виконати якісну ідентифікацію нелінійної коливальної системи „корпус плуга на пружній підвісці”.
4. Розробити математичну модель динамічної системи „корпус плуга – ґрунт”.
5. Дослідити математичну модель на ЕОМ і визначити раціональні параметри пружної підвіски корпусу плуга для різноманітних ґрунтових і технологічних умов.
6. Виконати апробування результатів моделювання в реальних польових умовах і визначення адекватності математичної моделі об'єкту дослідження.

Об'єктом дослідження є процес взаємодії корпусу плуга на пружній підвісці з ґрунтом при раціональному режимі роботи, який забезпечує зниження енергомісткості процесу обробки ґрунту.

Предмет дослідження – закономірності процесу взаємодії корпусу плуга на пружній підвісці з ґрунтом.

Методи дослідження. При проведенні досліджень використовувались елементи статистичної динаміки, теорія нелінійних стохастичних коливань, математична модель побудована методом ідентифікації, метод дослідження – імітаційне моделювання. Обробка результатів експериментального дослідження виконана на основі методів математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Вперше виконано якісну ідентифікацію коливальної системи корпусу плуга на пружній підвісці, що ґрунтується на дослідженні плуга в умовах нормального функціонування та дає можливість визначити тип диференціального рівняння руху коливальної системи.
2. Розроблена нова математична модель динаміки взаємодії корпусу плуга на пружній підвісці з ґрунтом, що дозволяє виконувати моделювання динамічної системи з урахуванням нелінійної характеристики пружного елемента, стохастичності вхідної дії, динамічних, кінематичних і технологічних параметрів системи.
3. Вперше виконане імітаційне моделювання динамічної системи „корпус плуга на пружній підвісці – ґрунт”, яке дозволяє досліджувати математичну модель на ЕОМ, змінюючи у широких межах конструктивні і технологічні параметри системи.
4. Удосконалено обґрунтування жорсткості пружного елемента підвіски, яка налагоджує корпус плуга на раціональний режим роботи, що забезпечує зниження тягового опору при роботі плуга в різноманітних ґрунтових та технологічних умовах.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що розроблені методи, методики і алгоритми ідентифікації, моделювання і дослідження корпусу плуга на пружній підвісці можливо використовувати для оптимізації параметрів різноманітних конструкцій ґрунтообробних машин з робочими органами, що коливаються, при наявності випадкових процесів в системах. Результати досліджень впроваджені в ПФ ННЦ ІМЕСГ (с.м.т. Якимівка, Запорізької обл.), корпус плуга ПЛП 5- 35 закріплений за допомогою пружної підвіски та налагоджений у відповідності до рекомендацій на оптимальний режим роботи, виявив зниження тягового опору на 12...15%.

Особистий внесок здобувача. Особисто автору належать наступні матеріали дисертаційної роботи:

- розробка методики і алгоритму ідентифікації коливальної системи „корпус плуга на пружній підвісці” [1];
- розробка математичної моделі динаміки взаємодії корпусу плуга на пружній підвісці з ґрунтом [1,2,3];
- розробка методики і алгоритму імітаційного моделювання корпусу плуга на пружній підвісці [5];

- експериментальне дослідження корпусу плуга в умовах нормального функціонування і проведення лабораторного дослідження [6,7];
- дослідження математичної моделі на ЕОМ, внаслідок чого визначені раціональні параметри пружної підвіски корпусу плуга [5].

У співавторстві виконано:

- визначення ступеня не лінійності динамічної системи „корпус плуга – ґрунт”(співавтори – Рогач Ю.П., Кушнар'єв А.С.) [4];
- апробація результатів дослідження в реальних польових умовах, перевірка відповідності математичної моделі об'єкту дослідження (співавтор – Рогач Ю.П.) [6].

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи заслуховувалися і обговорювалися на науково – технічних конференціях професорсько – викладацького складу і аспірантів (ТДАТА, м.Мелітополь, 1994 – 2006 рр.), Всесоюзній науково – технічній нараді з проблем кібернетики сільськогосподарського виробництва (м.Єреван, 1986 р.), Всесоюзній науково – технічній конференції з сучасних проблем землеробної механіки (м.Мелітополь, МІМСГ, 1989 р.), Міжнародній науково – практичній конференції „Моделювання процесів і технологічного обладнання в сільському господарстві” (м.Мелітополь, ТДАТА, 1994 р.), Республіканському науково – технічному семінарі з покращення показників теплових двигунів та ресурсозбереженню (м.Мелітополь, ТДАТА, 1995 р.), Міжнародній науково практичній інтернет – конференції „Роль землеробної механіки у соціальному розвитку суспільства” (м.Мелітополь, ТДАТА, 2005 р.)

Публікації. Основні положення і результати дисертаційної роботи опубліковано в 7 статтях в період з 1998 по 2006 роки.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел (100 найменувань джерел), додатків. Загальний обсяг роботи складає 131 сторінку машинописного тексту, з них основний зміст роботи складає 119 сторінок. Дисертація містить 21 таблицю, 20 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, розкрито стан наукової задачі та її значення, сформульовано мету і задачі дослідження, основні положення, що складають наукову новизну і практичне значення роботи.

У першому розділі „Аналіз досліджень процесу обробки ґрунту знаряддями вібраційної дії” розглянуто і проаналізовано методи дослідження вібраційних ґрунтообробних знарядь. Перші конструкції ґрунтообробних знарядь вібраційної дії припускали наявність примусової вібрації робочих органів від зовнішніх джерел. Відомо, що загальні витрати енергії на переміщення агрегату і створення вібрації перевищують витрати енергії необхідної для роботи без вібрації. Значний інтерес викликають спроби зниження тягового опору і покращення якості обробку ґрунту за допомогою пружного закріплення

робочих органів, які здійснюють коливання, обумовлені нерівномірністю опору ґрунту.

Питаннями дослідження коливань корпусу плуга на пружній підвісці займалися А.А.Дубровський, Е.Т.Волков, М.О.Уфіркін, О.Ф.Крюков, Г.О.Рябцев, Я.Б.Ельгурт, А.Г.Дегтярьов, Т.С.Скакун, А.І.Клюєв, А.І.Нідзієв та інші вчені. Аналіз цих досліджень показав що: факт зниження тягового опору при обробку ґранта з вібруючими робочими органами можна вважати доведеним, позитивним ефектом при цьому є покращення якості обробку ґрунту; недоліком всіх конструкцій, що використовують спеціальні вібратори, є ускладнення конструкції та додаткова витрата енергії на привід вібратора, що робить роботу ґрунтообробного знаряддя не вигідною, і навпаки, енергетично вигідно використання знарядь з пружним закріпленням робочих органів, джерелом виникнення яких є нерівномірність опору ґрунту; у розроблених конструкціях жорсткість пружного елемента підбиралась, як правило, експериментальними методами, що не дає можливості налаштувати підвіску на оптимальний режим роботи в різноманітних умовах. Тому дослідження роботи корпусу плуга на пружній підвісці раціонально виконувати методом математичного моделювання, яке використовується як засіб експериментування. Багато авторів розглядають лінійні моделі взаємодії робочого органу з ґрунтом і тому дослідження цих процесів методами класичної теоретичної механіки дає результати, що суперечать даним експерименту. Використання методів нелінійної механіки підвищує точність моделювання ґрунтообробних машин. З аналізу методів моделювання встановлено, що: математичну модель бажано створювати не апріорними міркуваннями, а на основі доказів, на засадах дослідження поведінки динамічної системи в умовах нормального функціонування; з метою підвищення точності дослідження динамічних процесів, які відбуваються при обробку ґрунту, доцільно виконувати методом моделювання на цифрових обчислювальних машинах.

В роботі поставлена задача розробити математичну модель коливальної системи „корпус плуга на пружній підвісці - ґрунт” на основі результатів експериментального дослідження корпусу плуга та дослідити математичну модель на ЕОМ з метою визначення раціональних параметрів пружної підвіски корпусу плуга.

В *другому розділі* „Методика розробки математичної моделі динамічної системи „корпус плуга на пружній підвісці - ґрунт” запропонована методика розробки математичної моделі та методика імітаційного моделювання динаміки взаємодії корпусу плуга з ґрунтом. Математична модель уявлена як динамічна система характеристик процесу з вхідною функцією – опором ґрунту та вихідною функцією – тяговим опором корпусу плуга. Рішення моделі полягає у визначенні параметрів системи, відповідних екстремуму цільової функції з урахуванням обмежень, що накладаються на перемінні системи.

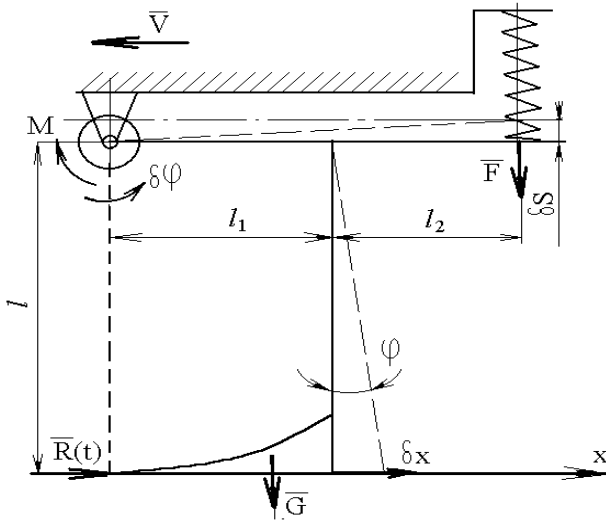
Формалізацією системи визначено, що механічна система „корпус плуга - ґрунт” зображена як система з одним ступенем волі, обмежена ідеальними

голономними зв'язками, в якості узагальненої координати прийняте горизонтальне переміщення носка лемешу плуга.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{\partial T}{\partial x} = Q, \quad (1)$$

Визначив кінетичну енергію T , узагальнену силу Q , отримуємо наступне рівняння

$$m\ddot{x} = R(t) - c \cdot L^2 \cdot x - \frac{M}{l}, \quad (2)$$



де: $R(t)$ – сила опору ґрунту,
 M – момент сил опору,
 C – коефіцієнт жорсткості,
 L, l – розмірні характеристики.

Прийняте наступне: залежність сили, що відновлює, від узагальненої координати вважати нелінійною, сили опору вважати лінійно-в'язкими, силу, що вимушує уявляти у вигляді випадкової функції.

Рис.1. Схема взаємодії корпусу плуга на пружній підвісці з ґрунтом.

Розглянуті три можливих механізми збудження коливань в системі „корпус плугу - ґрунт”:

1 – автоколивальна система, в якій при відсутності зовнішніх збурень можливі стійкі періодичні коливання

$$\ddot{x} + f(\dot{x}) + k^2 x = 0, \quad (3)$$

2 – система з випадковим зовнішнім збудженням, яка не містить ніяких інших джерел коливань

$$\ddot{x} + 2 \cdot b \cdot \dot{x} + f(x) = F(t), \quad (4)$$

3 – система з випадковим параметричним збудженням

$$\ddot{x} + 2b \cdot \dot{x} + \psi(t)x = 0, \quad (5)$$

Методикою якісної ідентифікації побудування математичної моделі коливального процесу на основі статистичного аналізу процесів в системі передбачено:

- записати реалізації вихідного процесу – тягового опору робочого органу $P(t)$ в умовах нормального функціонування;
- обробити одержану інформацію, отримавши в результаті щільність вірогідності квадрату амплітуди $P(V_i)$;

- відповідно з критерієм розпізнання, який є умовою, що накладається на статистичну характеристику, та визначає кордон між класами системи, визначається до якого класу відноситься досліджуваний процес. При цьому використовуються запропоновані М.Ф.Діментбергом наступні критерії розпізнання: критерії V , які основані на аналізі щільності вірогідності $P(V)$ квадрату амплітуди процесу, причому V_0 - функція $P(V)$ монотонно убуває при всіх $V \geq 0$, V_1 - функція $P(V)$ є прибуваюча, хоча би у межах одного інтервалу напіввісі $V > 0$.

Метод імітаційного моделювання містить в собі проведення на ЕОМ статистичних експериментів, що імітують функціонування системи при дії випадкових факторів, і в подальшій обробці результатів для визначення відповідних статистичних характеристик. Тому що в число збурень входять випадкові процеси, для яких канонічні розклади невідомі, рівняння зведені до системи стохастичних диференціальних рівнянь у нормальній формі Коши, які чисельно інтегруються по методу Рунге – Кутта четвертого порядку.

Діюче на систему випадкове збурення моделюється як результат проходження процесу типу білого шуму через деяку лінійну систему з постійними параметрами, що має назву – формуючий фільтр дії, який може бути у вигляді диференційного рівняння першого або другого порядку.

Задача оптимізації зведена до визначення коефіцієнтів диференційного рівняння силового зв'язку коли забезпечується мінімум тягового опору робочого органу, що досягається при збігу частоти впливу з періодом сколу ґрунту. Спектральна щільність тягового опору плугу характеризує частотний состав опору ґрунту деформації та зруйнуванню при взаємодії з робочим органом, вона досягає максимуму при збігу параметру ω з частотою дії β , при цьому відбувається сплеск спектральної щільності, аналогічний резонансу, тому у якості цільової функції обрано максимум спектральної щільності тягового опору корпусу плуга $S_v(\omega) \rightarrow \max$.

В *третьому розділі* „**Методика експериментального дослідження корпусу плуга на пружній підвісці**” запропоновані програми і методики експериментального дослідження корпусу плуга на пружній підвісці в умовах нормального функціонування та в лабораторних умовах.

Задачами експерименту, що дає інформацію про роботу плуга в умовах нормального функціонування, є:

- одержання реалізацій випадкових процесів для визначення статистичних характеристик вхідного параметру – опору ґрунту,
- одержання реалізацій випадкових процесів для визначення статистичних характеристик вихідного параметру – тягового опору корпусу плуга,
- статистичний аналіз процесів, що досліджуються, для побудови математичної моделі коливальної системи.

Програмою експерименту передбачено:

- визначення вологості ґрунту по довжині гону,
- визначення щільності ґрунту на робочій глибині плугу,

- визначення дискретних значень твердості ґрунту по методу Ревякіна,
- синхронний безперервний запис реалізацій процесів повздовжньої твердості ґрунту, тягового опору корпусу плуга на пружній підвісці та жорстко закріпленого корпусу плуга,
- реєстрацію часу проходження залікового гону.

Експеримент проводився на агрегаті, який складається з трактора Т - 150К і плугу ПЛП 5-35, один з корпусів якого прикріплено до рами за допомогою пружної підвіски. Дослідження проводилися на трьох швидкостях руху агрегату, відповідно 1, 2 і 3 передачам КПП трактора, і змінними пружинами різної жорсткості, запис осцилограм виконувався на довжині залікового гону 50 метрів. Вологість, твердість та щільність ґрунту визначались у відповідності загальноприйнятим методикам.

Для реєстрації тягового опору корпусу плуга виготовлена тензометрична стійка, на яку наклеєні тензорезистори, що реєструють момент, що вигинає, пропорційний горизонтальній складовій тягового опору корпусу плугу. Для одержання інформації про опір ґрунту використовуємо узагальнений показник фізико – механічної властивості ґрунту у вигляді твердості ґрунту $R(t)$. Перший спосіб – визначення твердості ґрунту по традиційній методиці твердоміром Ю.Ю. Ревякіна. Вимірювання проводились перед оранкою у 50 точках на робочій глибині до 30 см плунжером $F = 1 \text{ см}^2$. Другий спосіб – безперервне визначення повздовжньої твердості ґрунту твердоміром конструкції ЛСГІ, що уявляє собою деформатор конусовидної форми з площиною поперечного перетину $F = 3 \text{ см}^2$ і кутом утворюючої $22^\circ 30'$, закріплений на тензометричній стійці, на яку наклеєні тензорезистори, що реєструють момент, що вигинає, пропорційний опору ґрунту. Твердомір закріплюється на раму плуга таким чином, щоб деформатор рухався перед носком лемеша. Тарировка твердоміра та тензометричної стійки виконувалась на тарировочному стенді по стандартним методикам.

Задачами лабораторного експерименту є: визначення коефіцієнтів дисипації, визначення квазіупружних коефіцієнтів. Для визначення коефіцієнтів дисипації розглянемо характер коливань системи з однією ступеню волі, якщо під дією початкових умов вимушені її коливання і на неї діє сила опору, пропорційна першій ступені швидкості. Енергія системи буде розсіюватися, тому амплітуда коливань буде зменшуватися і з часом коливання згасають по закону

$$A = a \cdot \exp(-b \cdot t), \quad (6)$$

Експеримент проведено у наступній послідовності: корпус плуга на пружній підвісці встановлено на стенд, система виведена із стану рівноваги, виконується запис вільних згасаючих коливань корпусу плуга, амплітуда коливань апроксимується експоненціальною залежністю та визначається коефіцієнт дисипації, в якому враховані витрати енергії на тертя у системі. Для визначення квазіупружних коефіцієнтів розглянемо коливальну систему корпус плуга на пружній підвісці як пружну систему, властивості якої характеризуються коефіцієнтом жорсткості. Послідовність експерименту

наступна: встановлюється корпус плуга на стенд, до носка лемеша прикладається горизонтальна сила, яка збільшується ступінчасте, вимірюється величина проекції відхилення носка лемеша від початкового положення, апроксимуються результати по методу найменших квадратів у вигляді емпіричних залежностей кубічною параболою

$$y(x) = a_1x + a_3x^3. \quad (7)$$

Методикою обробки реалізацій стаціонарних випадкових процесів, що записані на осцилограмі, передбачено: перетворення безперервної часової функції до кінцевого числа дискретних значень; враховуючи, що, у першому наближенні, випадкові процеси вважаємо ергодичними, достатньо мати одну реалізацію випадкового процесу; оскільки реальний процес роботи ґрунтообробного знаряддя має нестаціонарні ділянки, вихідні реалізації випадкових процесів при обчислюванні статистичних характеристик приведені до стаціонарного виду методом фільтрації на ЕОМ центрируванням ординат відносно поточного математичного очікування $m_x(t)$:

$$f(n_i) = \begin{cases} 0.75 \left[1 - \left(\frac{n_i}{n\phi} \right)^2 \right], & \text{при } n_i < 0,5 \cdot n\phi \\ 0, & \text{при } n_i > 0,5 \cdot n\phi \end{cases}, \quad (8)$$

Визначаються наступні статистичні характеристики: математичне очікування m_x , кореляційна функція $K_x(\tau)$, спектральна щільність $S_x(\omega)$, взаємна кореляційна функція $K_{xy}(\tau)$, взаємна дисперсійна функція $D_{xy}(\tau)$.

В четвертому розділі „Результати експериментального дослідження корпусу плуга на пружній підвісці” викладені результати польового та лабораторного дослідження корпусу плуга на пружній підвісці. Задачами польового експерименту є: дослідження входної дії – опору ґрунту з метою визначення рівняння формуючого фільтру дії; визначення ступеню не лінійності зв'язків корпусу плуга; визначення типу коливальної системи з метою визначення математичної моделі динамічної системи корпусу плуга на пружній підвісці – ґрунт.

Польовий експеримент виконувався на полях господарств Запорізької області на агрегаті, що складався з трактора Т-150 К та плуга ПЛП 5-35 на агрофоні – люцерна з твердістю ґрунту на глибині 20...30 см – 5,719 МПа, щільністю ґрунту на глибині 20...30 см – 1,36 г/см², вологістю ґрунту – 14,9 %. У відповідності з методикою інформацію про входну дію – опір ґрунту одержано дослідженням узагальненого показника фізико – механічних властивостей ґрунту двома методами: за допомогою твердоміру Ю.Ю.Ревякіна і твердоміру А.Б.Лур'є (рис.2). Коефіцієнти кореляції цих двох процесів у межах 0,91...0,93, що дає підставу вважати тісним кореляційний зв'язок процесів, отже маємо право досліджувати дію, що збурює, за допомогою пристрою безперервного визначення повздовжньої твердості ґрунту.

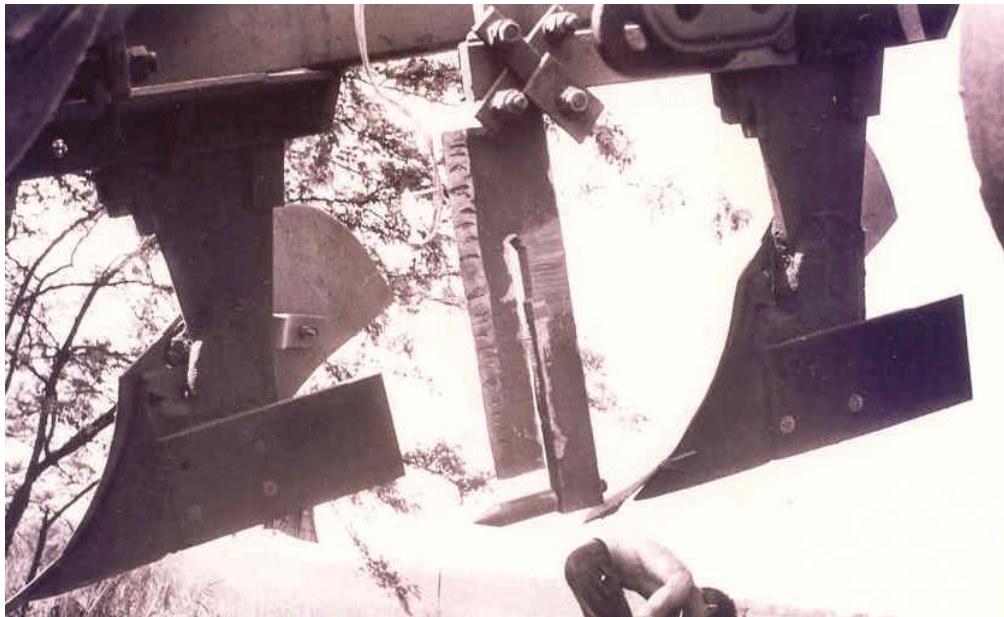


Рис.2. Пристрій для безперервного визначення повздовжньої твердості ґрунту.

Апроксимацією кореляційної функції і спектральної щільності реалізацій опору ґрунту виразами

$$K_y(\tau) = D_y \exp(-\alpha|\tau|) \cos \beta\tau, \quad (9)$$

$$S_y(\omega) = \frac{2D_y^2}{\pi} \cdot \frac{\omega^2 + \alpha^2 + \beta^2}{(\omega^2 - \alpha^2 - \beta^2)^2 + 4\alpha^2\omega^2}, \quad (10)$$

визначені коефіцієнти кореляційного зв'язку α і β , результати зведені у таблицю 1.

Таблиця 1
Статистичні оцінки повздовжньої твердості ґрунту

Статистичний параметр	Позначення	Швидкість руху, м/с		
		1,96	1,78	1,6
Математичне очікування	$m_y(t), \text{ Н}$	2679,0	2358,2	2149,1
Середньоквадратичне відхилення	$\sigma_y(t), \text{ Н}$	51,02	49,1	45,35
Частота зрізу	$\omega_0, 1/\text{с}$	0,210	0,628	0,314
Коефіцієнти кореляційного зв'язку	α	0,230	0,290	0,320
	β	3,100	2,295	2,282

Графіки кореляційної функції указують на ергодичність процесу, тому що $K_y(\tau)$ прагнуть до нуля при $\tau \rightarrow \infty$. Згасання кривих свідчить про наяву в процесі прихованих періодичних складових поряд з випадковими. Процес змінювання опору ґрунту має різномірний, низькочастотний спектр дисперсії з частотою

зрізу ω_c до $5,03 \text{ с}^{-1}$. З підвищенням швидкості руху V_0 від 1,5 до 1,96 м/с середні значення опору ґрунту декілька збільшуються (рис.3), спектри дисперсії декілька зрушуються у напрямку збільшення ω .

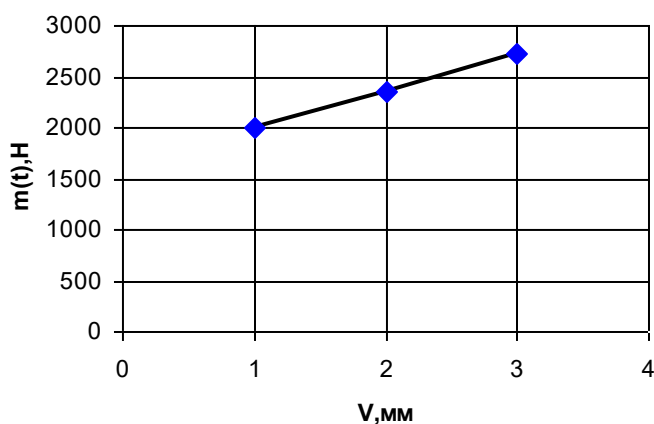


Рис. 3. Залежність математичного очікування поздовжньої твердості ґрунту $m_y(t)$ від швидкості руху агрегату.

Аналізуючи графік спектральної щільності опору ґрунту визначимо ширину спектру частот (табл. 2) по виразу

$$\Delta\omega = \frac{1}{S(\omega_0)}, \quad (11)$$

де ω_0 – частота, коли спектральна щільність максимальна,
 $S(\omega_0)$ – значення спектру спектральної щільності при $\omega = \omega_0$.

Таблиця 2

Значення ширини спектру частот

Параметр	Швидкість руху агрегату, V_0 , м/с		
	1,96	1,78	1,5
ω_0	0,210	0,628	0,314
$S(\omega_0)$	0,085	0,10	0,09
$\Delta\omega$	11,8	10,0	11,1

Результати, що отримані, підтверджують широкополосність процесу, тому що у всіх випадках ширина спектру значно більше частоти $\Delta\omega > \omega_0$, приймаємо у якості формуючого фільтру дії рівняння першого порядку

$$\dot{y} + \alpha V_0 y = \sigma_y \sqrt{2\alpha V_0} \cdot \eta(t). \quad (12)$$

де V_0 - швидкість руху агрегату, α – коефіцієнт кореляційного зв'язку, σ_y - середньоквадратичне відхилення, $\eta(t)$ - білий шум, який моделюється апроксимацією його абсолютно випадковим процесом.

Аналіз не лінійності зв'язку корпусу плуга на пружній підвісці виконано по результатам експериментального дослідження в умовах нормального функціонування.

Реалізації повздовжньої твердості ґрунту і тягового опору корпусу плуга оброблені у відповідності методики, одержані взаємні дисперсійна функція $D_{yx}(\tau)$ і взаємна кореляційна функція $K_{yx}(\tau)$ вхідного $y(t)$ і вихідного $x(t)$ стаціонарних випадкових процесів, що зображені графічно на рис. 4. Оскільки ступень не лінійності процесу $n(\tau) \neq 0$, можливо з достатньої упевненістю вважати процес взаємодії корпусу плуга на пружній підвісці нелінійним і описати його нелінійним диференціальним рівнянням

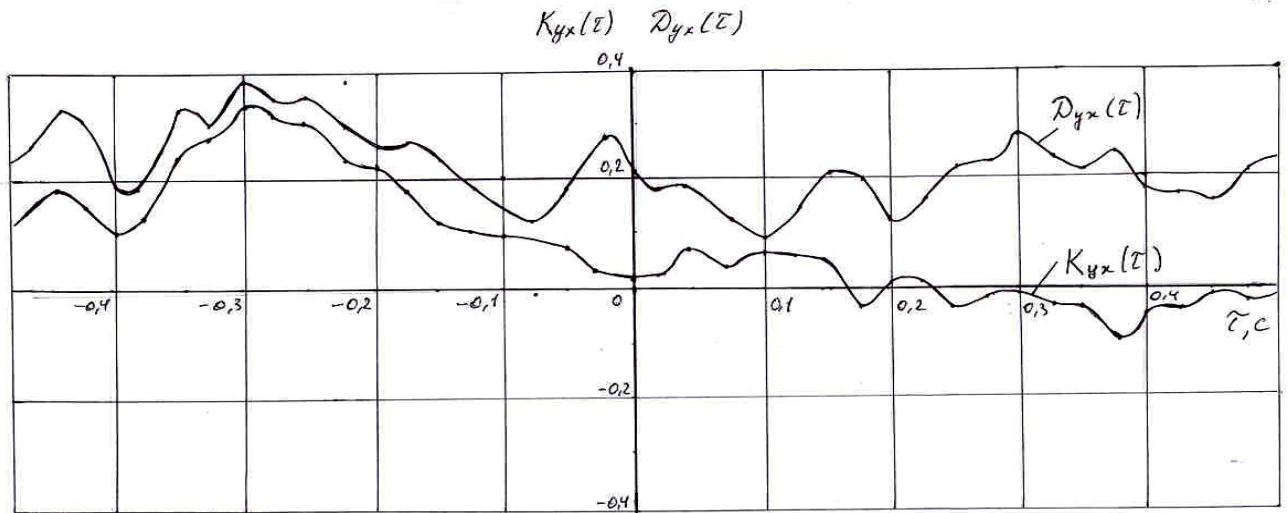


Рис. 4. Графіки взаємної дисперсійної і взаємної кореляційної функцій процесу взаємодії корпусу плуга на пружній підвісці з ґрунтом.

Коливання пружної системи корпус плуга на пружній підвісці характеризує коефіцієнт жорсткості пружного елемента, що приведено до носка лемешу плуга. У відповідності з методикою проведено експериментальне дослідження для визначення залежності переміщення носка лемешу від величини навантаження, що прикладається (рис.5).

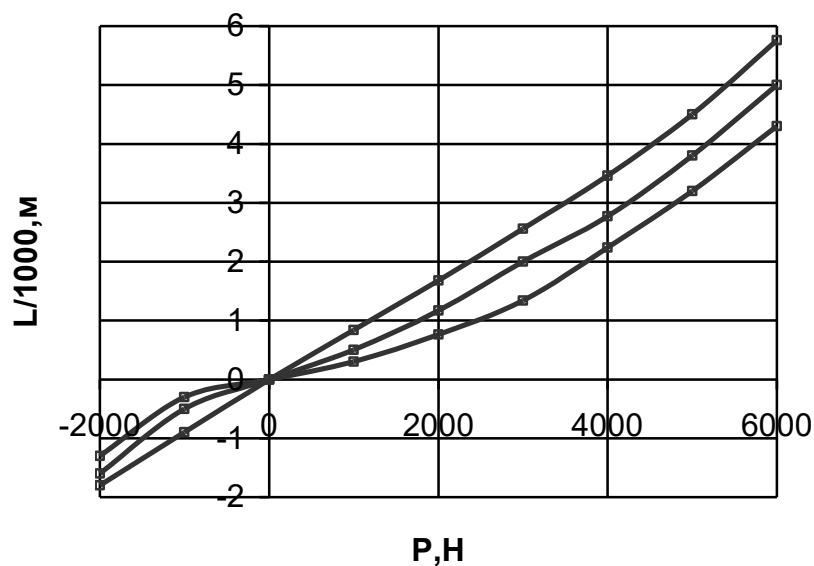


Рис.5. Залежність переміщення носка лемешу від величини навантаження, що прикладається.

Для моделювання динамічної системи „корпус плуга на пружній підвісці - ґрунт” необхідно мати значення коефіцієнту γ , який одержуємо апроксимацією результатів експериментального визначення залежності відхилення носка лемешу від навантаження. Значення коефіцієнту γ , що визначені для пружних елементів різної жорсткості, зведені у табл. 3.

Таблиця 3

Значення коефіцієнту γ

Жорсткість пружного елемента, С, Н/м	Коефіцієнт γ
$103 \cdot 10^3$	$0,152 \cdot 10^{-3}$
$180 \cdot 10^3$	$0,180 \cdot 10^{-3}$
$240 \cdot 10^3$	$0,188 \cdot 10^{-3}$

У розрахунках параметрів пружної підвіски корпусу плуга приймаємо середнє значення коефіцієнту $\gamma = 0,173 \cdot 10^{-3}$.

У вимушених коливаннях корпусу плуга на пружній підвісці необхідно неодмінно врахувати сили тертя у системі, тому що при роботі у стані резонансу похибка може досягати 20%. У даному випадку у якості дисипативних сил будемо враховувати момент сил опору М, що приведено до носка лемешу. Опор у вузлах конструкції приймаємо лінійно – в’язким. Виконуємо запис вільних коливань корпусу плуга у трьохкратному повторенні. Апроксимуючи знайдені амплітуди коливань експоненціальною залежністю визначаємо значення коефіцієнту дисипації b , результати обчислювання зведені у табл.4.

Таблиця 4.

Значення коефіцієнту дисипації корпусу плуга на пружній підвісці

Параметр	Значення коефіцієнту b			Середнє значення
	повторність 1	повторність 2	повторність 3	
b	0,085	0,082	0,086	0,084

У п'ятому розділі „Дослідження математичної моделі динамічної системи „корпус плуга на пружній підвісці - ґрунт” задачу побудови математичної моделі вирішуємо для коливальної системи «корпус плуга на пружній підвісці». Розглянемо різні можливі механізми збурення коливань системи, що досліджується. Записані синхронно реалізації опору ґрунту і тягового опору робочого органу оброблені на ЕОМ. В результаті визначена щільність вірогідності квадрату амплітуди $W(V_i)$. Перевіряємо гіпотезу 2 проти альтернативи 1, визначаємо, удає процес $x(t)$ чисто вимушені коливання системи, чи її автоколивання, що збуджені випадковою дією. У якості ознаки, по якій відрізняємо системи цих типів, використаємо різницю у щільностях вірогідності квадрату амплітуди процесу $x(t)$, яка визначається експоненціальною залежністю:

$$W(V_i) = \frac{1}{2\sigma^2} \exp\left(-\frac{V_i}{2\sigma^2}\right), \quad (13)$$

де σ^2 - дисперсія процесу; $V_i = A_i^2$ - квадрат амплітуди процесу $x(t)$.

Необхідною та достатньою умовою відсутності автоколивань у системі є властивість убуття знайденої із експерименту функції $W(V_i)$, виконання цієї умови каже про це, що процес $x(t)$ викликано винятково дією випадкових обурень. Результати якісної ідентифікації, що приведені на рис.6 дають засаду вважати, що, постільки щільність вірогідності квадрату амплітуди процесу є функція, що монотонно убиває, коливальна система відноситься до систем з випадковим зовнішнім збуренням.

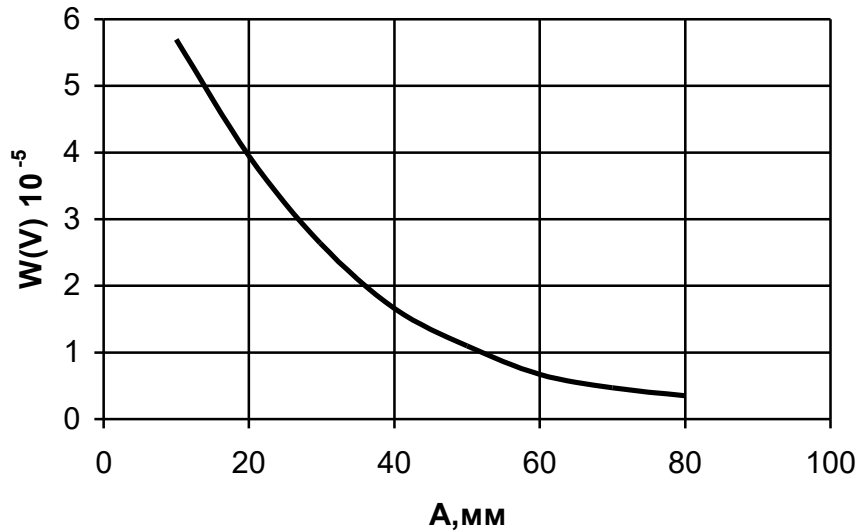


Рис. 6. Графік щільності вірогідності квадрату амплітуди $W(V_i)$ тягового опору корпусу плуга.

Математична модель представлена у вигляді системи з жорсткою кубічною нелінійною характеристикою пружності з діючими на неї стаціонарними гаусовськими центрованими випадковими обуреннями

$$\ddot{x} + 2b\dot{x} + \omega^2(x + \gamma x^3) = y(t), \quad (14)$$

та формуючому фільтру дії при руху плуга з постійною швидкістю

$$\dot{y} + \alpha V_0 y = \sigma_y \sqrt{2\alpha V_0} \cdot \eta(t), \quad (15)$$

де γ – додатна постійна,

b, ω – коефіцієнт дисипації та власна частота процесу,

$y(t)$ – вхід системи – опір ґрунту,

$x(t)$ – вихід системи – тяговий опір корпусу плуга,

$\eta(t)$ – білий шум з одиничною інтенсивністю.

Рівняння (14) і (15) записані у нормальній формі Коши

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = U_2, \\ \dot{U}_2 = -2b U_2 - \omega^2 (U_1 + \gamma U_1^3) + U_3, \\ \dot{U}_3 = -\alpha V_0 U_3 + \sigma_y \sqrt{2 \cdot \alpha \cdot V_0} \cdot \eta(t). \end{cases} \quad (16)$$

Чисельно інтегруємо рівняння (16) на ЕОМ при заданій реалізації білого шуму, використав метод Рунге–Кутта четвертого порядку. Випадковий процес задаємо за допомогою генератору псевдо випадкових нормально розподілених чисел. Статистично обробивши реалізації рішення, визначаємо оцінки статистичних характеристик тягового опору корпусу плуга на пружній підвісці. Блок-схему алгоритму моделювання представлено на рис.9. Задача оптимізації зведена до устанавлення коефіцієнтів диференційного рівняння силового зв'язку при яких забезпечується мінімум тягового опору корпусу плуга, що має бути при збігу частоти дії плугу з періодом сколу ґрунту. Змінюючи у широких межах параметри підвіски і режими роботи плуга, у відповідності з критерієм оптимізації, маємо змогу вибору раціонального режиму роботи плуга на ґрунтах з різною твердістю. Моделювання виконувалось при наступних параметрах: $b=0,084$, $\gamma=0,173 \cdot 10^{-3}$, $\alpha=0,29 \text{ м}^{-1}$, $\sigma_y=252 \text{ Н}$, шаг інтегрування $0,01 \text{ с}$, шаг дискретизації дії $h=0,005 \text{ с}$.

Розрахунок жорсткості пружного елемента виконувався для ґрунтів твердістю від $1,0$ до $8,0 \text{ МПа}$ з шагом $0,5 \text{ МПа}$ і для швидкості руху агрегату V_0 від $1,5 \text{ м/с}$ до $2,25 \text{ м/с}$ з шагом $0,25 \text{ м/с}$. По результатам розрахунків складено номограму (рис. 7), яка дає змогу визначити, пружину якої жорсткості необхідно встановити на пружну підвіску для заданої швидкості руху та відомої твердості ґрунту.

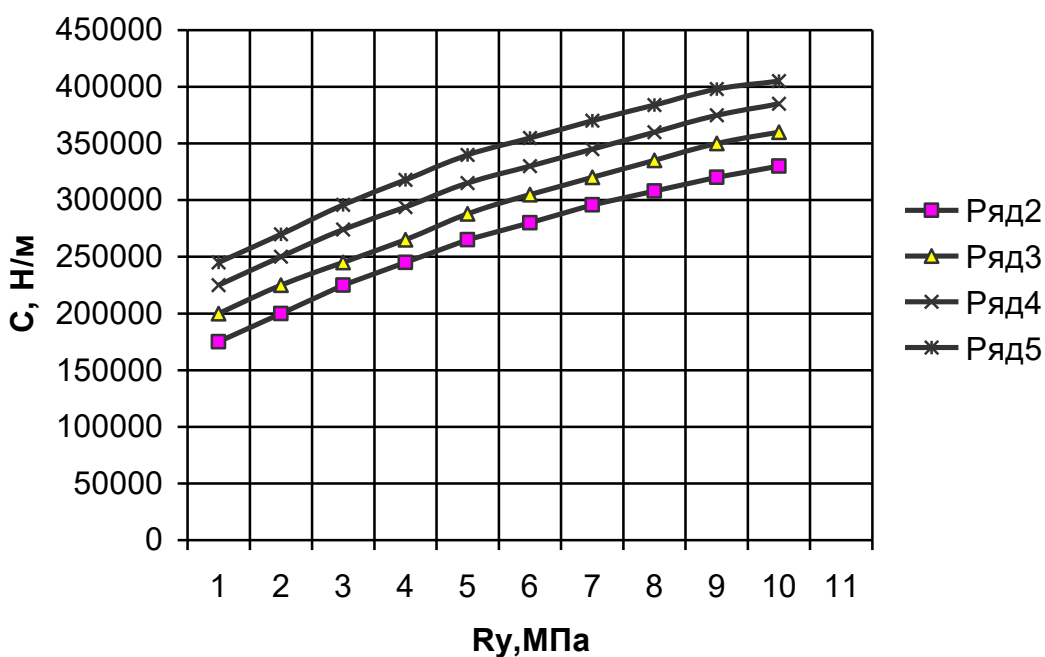


Рис. 7. Номограма визначення жорсткості пружного елемента у залежності від твердості ґрунту на різних швидкостях руху агрегату: ряд 2- $V=1,5 \text{ м/с}$; ряд 3 – $V=1,75 \text{ м/с}$; ряд 4 – $V=2,0 \text{ м/с}$; ряд 5 – $V=2,25 \text{ м/с}$.

Аналіз результатів дослідження математичної моделі динамічної системи „корпус плуга на пружній підвісці - ґрунт” показав очевидний недолік встановлення на підвіску циліндричної пружини з лінійною характеристикою

пружності, тому що пружина постійної жорсткості перекриває малий діапазон зміни технологічних параметрів. виправити цей недолік рекомендовано встановленням на підвіску конічної пружини перемінної жорсткості з нелінійною характеристикою пружності.

З метою оцінки ступеню відповідності математичної моделі об'єкту дослідження зроблено апробування результатів моделювання і перевірка ступеню ідентичності моделі. Апробування проводилось на полях ПФ ННЦ ІМЕСГ (с.м.т. Якимівка, Запорізької обл.) на агрегаті, що складався з трактора Т-150 К і плуга ПЛП 5-35, згідно рекомендованим параметрам роботи. Проводився синхронний запис опору ґрунту $R(t)$, тягового опору пружно закріпленого корпусу і жорстко закріпленого корпусу плуга на швидкості агрегату $V_0 = 2$ м/с, при цьому на підвіску встановлені змінні циліндрична пружина постійної жорсткості $C = 240 \cdot 10^3$ Н/м і конічна пружина перемінної жорсткості з нелінійною характеристикою пружності (рис.8).

По результатам дослідження оцінювалась робота пружної підвіски, що налагоджена на оптимальний режим роботи (рис.10), у порівнянні з стандартним, жорстким закріпленням корпусу плуга.

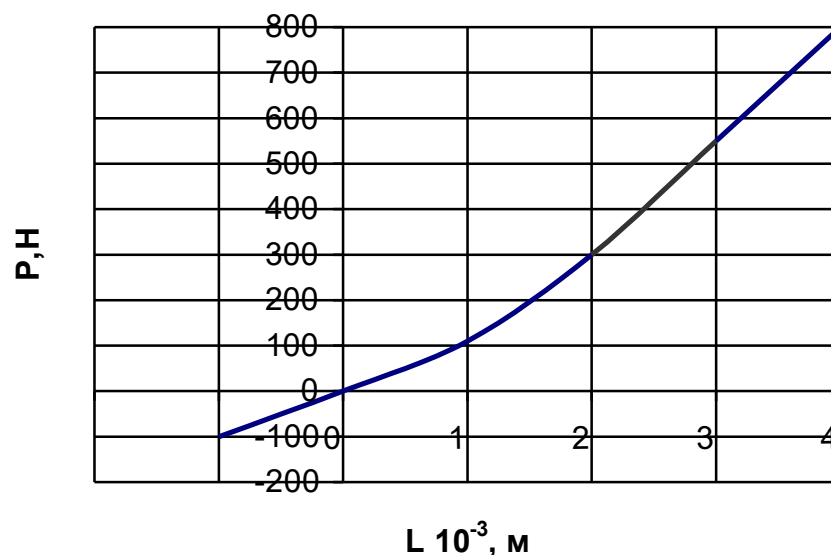


Рис.8. Нелінійна силова характеристика пружності.

Науково – виробнича перевірка показала, що при оптимальному режимі роботи тяговий опір пружно закріпленого корпусу плуга на 12...15 % нижче тягового опору жорстко закріпленого корпусу. Аналіз графіків кореляційної функції $K(\tau)$ і спектральної щільності $S_y(\omega)$ процесів, що досліджені (рис. 11), показав, що: процес зміни тягового опору корпусу плуга на пружній підвісці має однорідний, низькочастотний спектр дисперсії з частотою зрізу ω_c до $5,02$ с⁻¹, процес зміни повздовжньої твердості ґрунту має порівняно однорідний низькочастотний спектр дисперсії з частотою зрізу ω_c до $4,4$ с⁻¹, процес зміни тягового опору жорстко закріпленого корпусу плуга має різномірний, низькочастотний спектр дисперсії з частотою зрізу ω_c до $4,08$ с⁻¹.

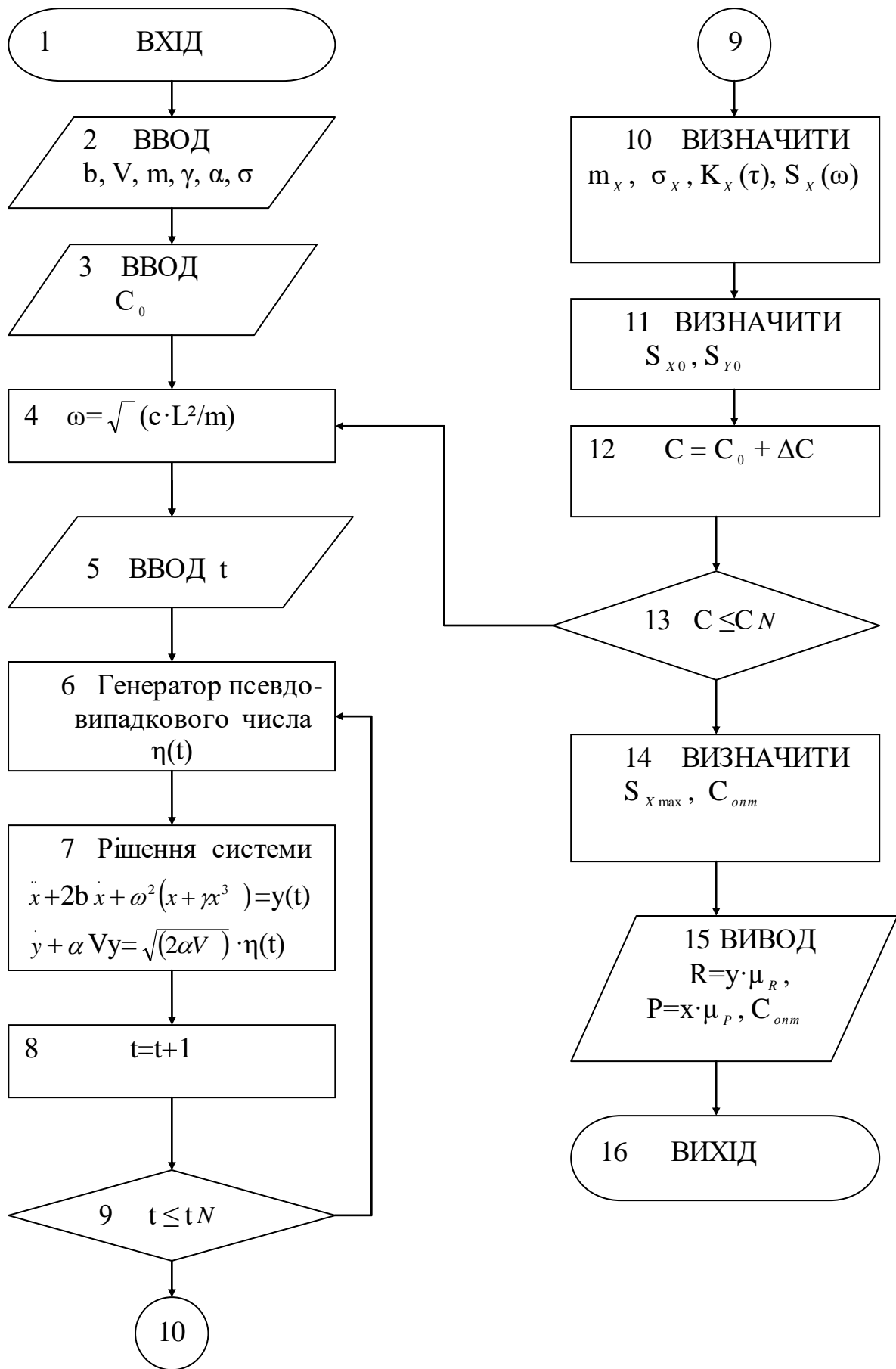


Рис. 9. Блок-схема алгоритму імітаційного моделювання корпусу плуга.



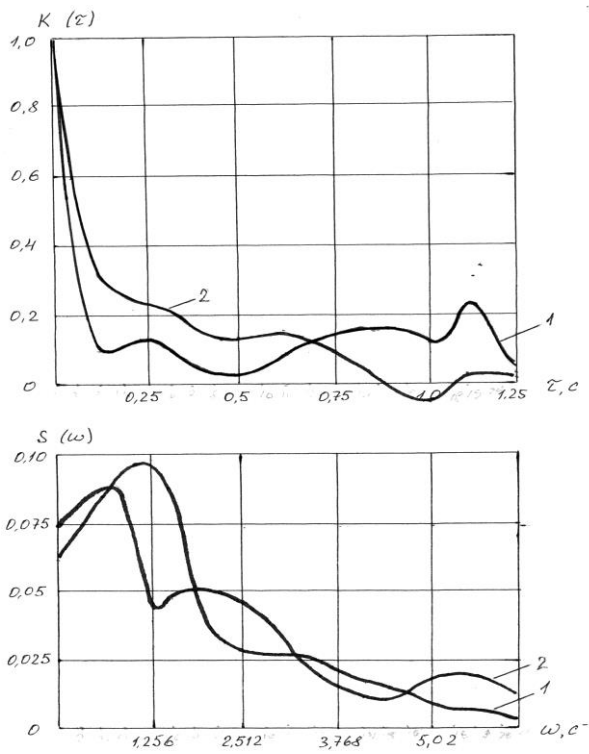
Рис. 10. Науково-виробниче дослідження корпусу плуга на пружній підвісці.

Порівняння частоти ω_0 , відповідної максимуму спектральної щільності $S_0(\omega)$ пружно закріпленого корпусу плуга з частотою ω_0 повздожньої твердості ґрунту, показує, що ці частоти знаходяться у діапазоні 0,942...1,57 с^{-1} , отже частота дії співпадає з власною частотою коливальної системи, що каже про роботу у режимі резонансу або в режимі биття.

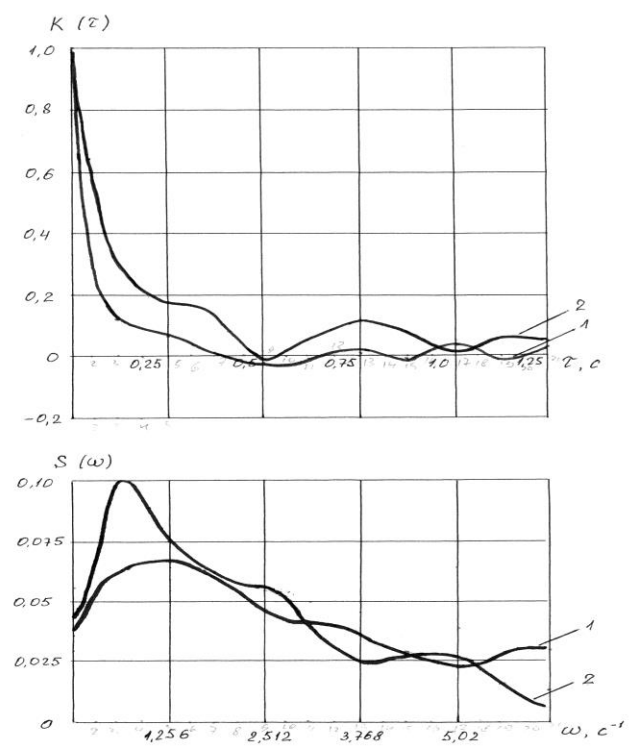
Таблиця 5

Оцінка тягового опору корпусу плуга

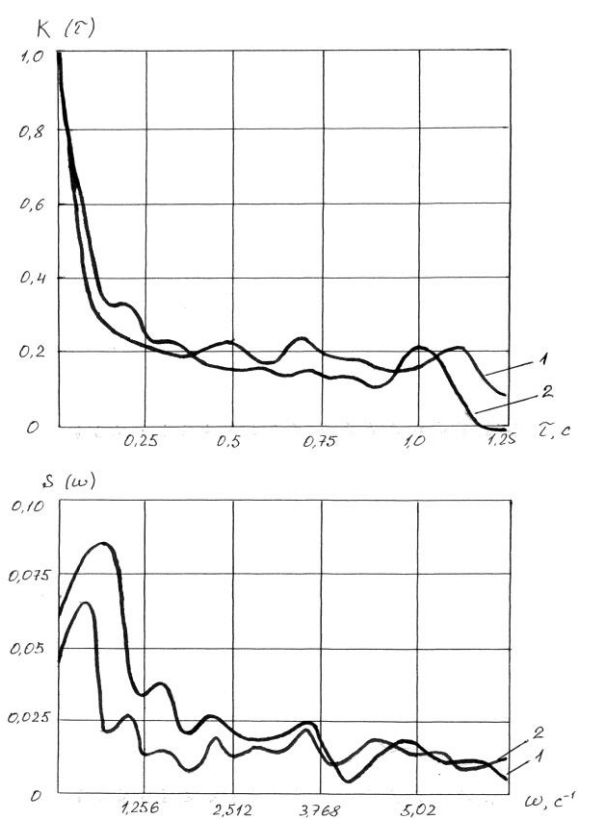
Параметр	Тяговий опір корпусу плуга, $P(t)$, Н					
	жорстке кріплення		циліндрична пружина		конічна пружина	
	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 1	Дослід 2
Математичне очікування, m_x , Н	4896,0	4910,2	4279,5	4396,5	4057,3	4184,1
Середньоквадратичне відхилення, σ_x , Н	898,5	925,1	771,6	710,2	600,1	594,2
Коефіцієнт варіації, v , %	18,3	18,8	18,0	16,1	14,8	14,2



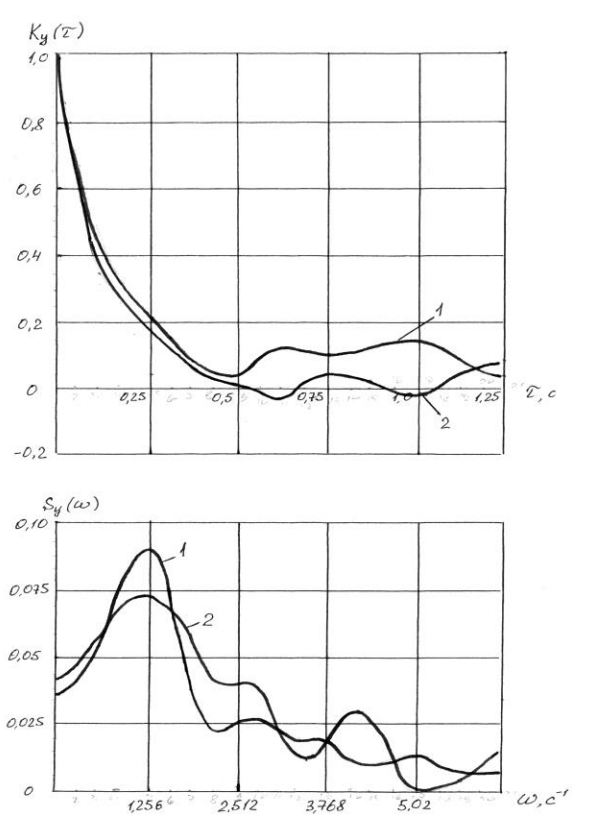
а)



б)



в)



г)

Рис. 11. Кореляційні функції $K(\tau)$ і спектральні щільності $S(\omega)$ реалізацій тягового опору пружно закріпленого корпусу плуга: а) з циліндричною пружиною, б) з кінчною пружиною, в) жорстко закріпленого корпусу плуга і г) повздовжньою твердістю ґрунту: 1- дослід 1, 2- дослід 2.

Математичне очікування m_x і коефіцієнт варіації пружно закріпленого корпусу плуга з конічною пружиною декілька менше, чім математичне очікування і коефіцієнт варіації корпусу з циліндричною пружиною. Це каже про те, що корпус плуга з конічною пружиною більш задовільно перероблює вхідний сигнал – опір ґрунту за рахунок зменшення розброду амплітуд коливань відносно математичного очікування, в порівнянні з корпусом плуга з циліндричною пружиною. При визначенні математичної моделі нами враховані не всі можливі впливи на ґрунтообробне знаряддя, а враховано тільки найбільш важливий фактор – опір ґрунту, що потребує математичного підтвердження за допомогою кількісної оцінки ступіні ідентичності. Чисельно ступінь ідентичності ξ дорівнює квадрату коефіцієнту кореляції ρ^2_{xy} між випадковою величиною на вході та вихідною величиною. По результатам дослідження динамічної системи „корпус плуга на пружній підвісці - ґрунт”, визначивши коефіцієнт кореляції $\rho_{xy} = 0,86$, визначаємо ступень ідентичності моделі $\xi = 0,74$, що каже про те, що опір ґрунту з високою ступеню ідентичності впливає на вихідну перемінну – тяговий опір корпусу плуга. Для визначення адекватності моделі, у відповідності з критерієм Пірсона, обраховані теоретична і практична щільність розподілення, визначено експериментальний критерій згоди $\chi^2 = 0,25$ та табличне значення критерію згоди $\chi^2 = 0,994$. Адекватність моделі задовольняється, тому що виконується умова $P(\chi^2; q) > \alpha$.

У шостому розділі визначено економічний ефект від впровадження пружної підвіски корпусу плуга, що одержується у результаті підвищення продуктивності праці при основному обробку ґрунту і зменшення при цьому розходу палива. Встановлено, що річний економічний ефект складає 1450 грн на один машинно – тракторний агрегат.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведене теоретичне узагальнення і нове розв’язання наукового завдання, що виявляється в дослідженні динаміки взаємодії корпусу плуга на пружній підвісці з ґрунтом, у результаті чого обґрунтовані раціональні параметри пружної підвіски, які забезпечують зниження тягового опору при роботі плуга в різноманітних технологічних умовах.

1. Аналізом дослідження процесу обробки ґрунту знаряддями з вібруючими робочими органами встановлено, що настроювання параметрів пружної підвіски на оптимальний режим роботи в різноманітних технологічних умовах необхідно виконувати за допомогою математичного моделювання динамічної системи „корпус плуга - ґрунт”, що дозволяє вирішувати будь – які задачі оптимізації параметрів системи.
2. Доведено, що коливальна система корпус плуга на пружній підвісці відноситься до систем з випадковим зовнішнім збуренням і математична модель динаміки взаємодії корпуса плуга на пружній підвісці з ґрунтом запропонована у вигляді

нелінійного стохастичного диференціального рівняння з жорсткою кубічною характеристикою пружності

$$\ddot{x} + 2b\dot{x} + \omega^2(x + \gamma x^3) = y(t).$$

3. Запропоновано зобразити опір ґрунту - вхідну дію у динамічну систему „корпус плуга - ґрунт”, як результат проходження процесу типу білого шуму через формуючий фільтр дії, що описується диференціальним рівнянням першого порядку з постійними параметрами

$$\dot{y} + \alpha V_0 y = \sigma_y \sqrt{2\alpha V_0} \cdot \eta(t).$$

4. Визначена оптимальна жорсткість пружного елемента для ґрунтів твердістю від 1,0 до 8,0 МПа і для швидкості руху агрегату від 1,5 м/с до 2,25 м/с, що дає змогу визначити, пружину якої жорсткості необхідно встановити на підвіску для заданої швидкості руху та відомої твердості ґрунту.
5. Доказано, що встановлення на підвіску конічної пружини перемінної жорсткості з нелінійною характеристикою пружності більш раціональне ніж циліндричної пружини постійної жорсткості, тому що пружина перемінної жорсткості перекриває достатньо великий діапазон зміни технологічних параметрів.
6. Апробування результатів моделювання, що виконане у реальних умовах функціонування згідно рекомендованим параметрам роботи на швидкості руху агрегату $V_0 = 2 \pm 0,1$ м/с для ґрунту твердістю $3,077 \pm 0,02$ МПа з встановленою конічною пружиною, що перекриває діапазон $C = 200000 \pm 50000$ Н/м, показало зниження тягового опору на 12...15% порівняно з жорстко закріпленим корпусом плуга.
7. Адекватність математичної моделі об'єкту дослідження підтверджена у відповідності критерію Пірсона, тому що табличне значення критерію згоди $P(\chi^2; q) = 0,994$, що більше рівня значення $[1 - \Phi(x)] = 0,1$. Ступінь ідентичності моделі $\xi = 0,74$, що підтверджує право ураховувати тільки один вхідний фактор – опір ґрунту, що чинить основний вплив на тяговий опір корпусу плуга.
8. Впровадження пружної підвіски за рахунок підвищення продуктивності праці і економії пального дає річний економічний ефект $\mathcal{E}_r = 1450$ грн на один машинно – тракторний агрегат.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. *Дюжаев В.П.* Построение математической модели колебательной системы рабочий орган – почва //Труды / ТГАТА. – Вып.1– т.5. - Техника в сельскохозяйственном производстве.– Мелитополь, 1998. – С.77- 82.
2. *Дюжаев В.П.* Формализация динамической системы корпус плуга на упругой подвеске – почва // Праці / ТДАТА. – Вып.1 – т.18. – Мелітополь, 2001.- С.188 – 191.

3. *Дюжаев В.П.* Моделирование входного воздействия динамической системы корпус плуга – почва // *Праці / ТДАТА.*- Вип. 13. – Мелітополь, 2003. — С.40-44.
4. *Кушнар'ов А.С., Рогач Ю.П., Дюжаев В.П.* Визначення ступеня не лінійності процесу взаємодії корпусу плуга на пружній підвісці з ґрунтом // *Праці / ТДАТА.* – Вип.19.- Мелітополь, 2004. – С.17 – 18.
(*Особистий внесок – проведення експериментального дослідження корпусу плуга*).
5. *Дюжаев В.П.* Исследование математической модели динамической системы «корпус плуга на упругой подвеске - почва»// *Праці / ТДАТА.*- Вип.27 – Мелітополь, 2005. – С.97 – 101.
6. *Дюжаев В.П., Рогач Ю.П.* Апробирование результатов моделирования корпуса плуга на упругой подвеске // *Праці / ТДАТА.*- Вип.31 – Мелітополь, 2005. – С.62 – 68.
(*Особистий внесок – розроблена методика, проведено експериментальне дослідження та оброблені результати експерименту*).
7. *Дюжаев В.П.* Определение обобщенных коэффициентов дифференциального уравнения движения корпуса плуга на упругой подвеске // *Праці / ТДАТА.*- Вип.33 – Мелітополь, 2005. – С.122 – 126.

АНОТАЦІЯ

***Дюжаев В.П.* Обґрунтування технологічних і конструктивних параметрів пружної підвіски корпусу плуга. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. – Таврійська державна агротехнічна академія, Мелітополь, 2007.

Робота присвячена дослідженню і моделюванню динаміки взаємодії корпусу плуга на пружній підвісці з ґрунтом. На основі експериментального дослідження корпусу плуга в умовах нормального функціонування розроблена математична модель динамічної системи корпус плуга – ґрунт, яка представлена у вигляді нелінійного стохастичного диференціального рівняння другого порядку з жорсткою нелінійною кубічною характеристикою пружності та добавленого до нього формуючого фільтру дії у вигляді диференціального рівняння першого порядку з постійними коефіцієнтами, на характеристики системи накладені відповідні обмеження та визначено критерій оптимізації – максимум спектральної щільності тягового опору корпусу плуга. Дослідженням системи на ЕОМ методом імітаційного моделювання визначені оптимальні параметри пружної підвіски, що дозволяє налаштувати систему на роботу корпусу плуга у різних ґрунтових та технологічних умовах. Апробацією результатів дослідження доведено, що математична модель адекватно описує динаміку взаємодії корпусу плуга на пружній підвісці з ґрунтом. Розроблені методи, методики і алгоритми ідентифікації, моделювання і дослідження корпусу плуга на пружній підвісці можливо використовувати для оптимізації

параметрів різноманітних конструкцій ґрунтообробних машин з робочими органами, що коливаються, при наявності випадкових процесів в системах.

Ключові слова – пружна підвіска корпусу плуга, імітаційне моделювання, оптимізація параметрів, якісна ідентифікація, динамічна система.

АННОТАЦІЯ

Дюжаев В.П. Обоснование технологических и конструктивных параметров упругой подвески корпуса плуга. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.11 – машины и методы механизации сельскохозяйственного производства. Таврическая государственная агротехническая академия. – Мелитополь, 2007.

В работе выполнено исследование и моделирование динамики взаимодействия корпуса плуга на упругой подвеске с почвой. Снижение энергозатрат при обработке почвы плугом с применением вибрационных методов интенсификации технологического процесса возможно орудиями с упруго закрепленными корпусами, в результате чего рабочий орган совершает колебания, возбуждаемые неравномерностью сопротивления почвы. Для настройки колебательной системы на работу в режиме резонанса, когда частота воздействия плуга совпадает с периодом скалывания почвы, необходимо определить оптимальные параметры упругой подвески, что достигается разработкой математической модели динамической системы «корпус плуга на упругой подвеске - почва» и исследованием этой модели на ЭВМ, для различных почвенных и технологических условий работы плуга. Формальным описанием процесса взаимодействия корпуса плуга на упругой подвеске с почвой, учитывающем основные закономерности процесса и действующие факторы, предлагается математическая модель процесса в виде нелинейного стохастического дифференциального уравнения второго порядка. Априорно принятая нелинейность уравнения силовой связи подтверждена по результатам экспериментального исследования. Экспериментальное исследование сопротивления почвы, как входного воздействия в динамическую систему «корпус плуга – почва» позволило представить возмущающее воздействие как результат прохождения процесса типа белого шума через формирующий фильтр воздействия, описываемый дифференциальным уравнением первого порядка с постоянными параметрами.

Качественная идентификация динамической системы, выполненная на основе экспериментального исследования корпуса плуга на упругой подвеске, позволила вычислить плотность вероятности квадрата амплитуды в качестве критерия распознавания вида колебательной системы и определить, что динамика взаимодействия корпуса плуга на упругой подвеске с почвой описывается дифференциальным уравнением со случайным внешним возбуждением. В результате имитационного моделирования динамики взаимодействия корпуса плуга на упругой подвеске с почвой определена

оптимальная жесткость упругого элемента для различных почвенных и технологических условий работы плуга.

Анализ результатов исследования показал необходимость установки на подвеску конической пружины переменной жесткости с нелинейной характеристикой упругости, которая будет способствовать автоматической настройке системы на изменение технологических параметров работы плуга в широком диапазоне. Апробирование результатов исследования, выполненное в реальных условиях функционирования, согласно рекомендуемым параметрам, со сменными цилиндрической и конической пружинами, показало адекватность математической модели объекту исследования. При оптимальной жесткости упругого элемента $C = 240000$ Н/м для почвы твердостью 3,077 МПа тяговое сопротивление упруго закрепленного корпуса плуга на 12...15% ниже тягового сопротивления жестко закрепленного корпуса плуга.

Адекватность модели подтверждена в соответствии с критерием Пирсона. Степень идентичности модели $\xi = 0,74$, что подтверждает право учитывать только один входной фактор – сопротивление почвы, оказывающий основное влияние на тяговое сопротивление корпуса плуга. Внедрение упругой подвески за счет повышения производительности труда и экономии горючего даёт годовой экономический эффект $\mathcal{E}_r = 1450$ грн на один машинно – тракторный агрегат.

Ключевые слова – упругая подвеска корпуса плуга, имитационное моделирование, оптимизация параметров, качественная идентификация, динамическая система.

SUMMARY

V.Diuzhayev. A substantiation technological and design data of the case of a plough on an elastic suspension bracket. - Manuscript.

Thesis for a candidate of technical science degree in speciality 05.05.11 - machine and methods of mechanization of agricultural manufacture. Tavria State Agrotechnical Academy. - Melitopol, 2007.

In work the research and modeling of dynamics of interaction of the case of a plough on an elastic suspension bracket with ground is executed. The formal description of process of interaction of the case of a plough on an elastic suspension bracket with ground which is taking into account the basic laws of process and the working factors, offers mathematical model of process as the nonlinear stochastic differential equation of the second order. Apriori the accepted nonlinearity of the equation of power communication, is confirmed by results of an experimental research. An experimental research of resistance of ground, as entrance influence in dynamic system" the case of a plough - the ground " has allowed to present revolting influence as result of passage of process such as white noise through the forming filter of influences described by the differential equation of the first order with constant parameters. By identification of system is determined, that dynamics of interaction of the case of a plough on an elastic suspension bracket with ground is described by the differential equation with casual external excitation.

As a result of imitating modeling of dynamics of interaction of the case of a plough on an elastic suspension bracket with ground the optimum rigidity of an elastic element for various soil and technological conditions of work of a plough is determined. The check of results of research executed in real conditions of functioning, according to recommended parameters, with replaceable cylindrical and conic springs, has shown adequacy to mathematical model to object of research. The adequacy to model is confirmed according to criterion of Pirson.

The introduction of an elastic suspension bracket at the expense of increase of productivity of work and economy of fuel gives annual economic benefit $\dot{Y} = 1450$ griven on one unit.

Key words - elastic suspension bracket of the case of a plough, imitating modeling, optimization of parameters, qualitative identification, dynamic system.

Підписано до друку 2 березня 2007 р. Формат 60x90/16
Обсяг 1,0 авт. арк.. Тираж 100 прим. Зам. № 36.

Надруковано в типографії Таврійської державної агротехнічної академії
72312, Запорізька обл., м. Мелітополь, пр. Б.Хмельницького, 18