

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ГАПОНЕНКО ОЛЕКСАНДР ІВАНОВИЧ

УДК 631.313.022.2

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРУЖНИХ СТОЯКІВ
ДИСКОВИХ ҐРУНТООБРОБНИХ АГРЕГАТІВ**

05.05.11 «Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва»

Автореферат дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2017

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано в Державній науковій установі «Український науково-дослідний інститут прогнозування і випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого» Міністерства аграрної політики та продовольства України

Науковий керівник доктор технічних наук, професор,
член-кореспондент НААН України
Кравчук Володимир Іванович,
Державна наукова установа «Український науково-дослідний інститут прогнозування і випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого»,
директор

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Ветохін Володимир Іванович,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
професор кафедри нарисної геометрії,
інженерної та комп'ютерної графіки

кандидат технічних наук, доцент
Шатров Руслан Володимирович,
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
доцент кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту імені М. П. Момотенка

Захист відбудеться «27» червня 2017 року о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.004.06 в Національному університеті біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15, навчальний корпус № 3, кімната 301

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 13, навчальний корпус № 4, кімната 41а

Автореферат розісланий «10» травня 2017 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

І. Л. Роговський

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В сучасних технологіях аграрного виробництва сільськогосподарської продукції відбуваються суттєві якісні зміни, обумовлені інтенсифікацією виробничих процесів з одночасним ресурсозбереженням. Відповідно цим змінам необхідно вдосконалювати сільськогосподарські агрегати, щоб забезпечити оптимальні технологічні режими їх роботи з мінімальними енергетичними витратами та підвищити надійність вузлів і агрегатів. Особливого значення набуває вирішення цих завдань для ґрунтообробних агрегатів, зокрема дискаторів, оскільки вони забезпечують 60–80 % попереднього та основного обробітку ґрунту.

Залишена на поверхні поля нетоварна частина врожаю стає вирішальним чинником у подальшому виконанні технологічних операцій та формує вимоги до виконавчих знарядь, зокрема, в розробленні дискових ґрунтообробних агрегатів з новими техніко-технологічними характеристиками для забезпечення якісного лушення стерні, зменшення енергозатрат та підвищення експлуатаційної надійності. Досвід використання пружних стояків робочих органів культиваторів та позитивний прогноз їх розвитку відкриває нові можливості для підвищення надійності дискових ґрунтообробних агрегатів.

Робочі органи встановлені на пружних стояках коливаються внаслідок нерівномірності сил опору ґрунту, завдяки чому руйнування ґрунту відбувається при менших затратах енергії, що зменшує витрати палива ґрунтообробним агрегатом. Дискатор з пружними стояками може мати кращу пристосованість до рельєфу поля, а отже, можливість забезпечення необхідної якості обробітку ґрунту.

Тому, актуальним науково-прикладним завданням є обґрунтування динамічних характеристик та конструкційних параметрів пружних стояків дискових робочих органів ґрунтообробних агрегатів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Результати досліджень виконано відповідно до плану науково-дослідних робіт Державної наукової установи «Український науково-дослідний інститут прогнозування та випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого» (ДНУ УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого) за науково-технічною програмою «Наукові засади розвитку технічної політики в агропромисловому комплексі України», в частині виконання тем «Розробка засобів випробування та оцінки працездатності пружних стійок сферично-дискових робочих органів» (номер державної реєстрації 0112U003412) і «Дослідження та обґрунтування конструкційних параметрів дискатора з пружними стояками» (номер державної реєстрації 0114U005397).

Мета дослідження – підвищення ефективності функціонування дискових ґрунтообробних агрегатів шляхом обґрунтування конструкційних параметрів та динамічних характеристик пружних стояків робочих органів.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано такі завдання дослідження:

- проаналізувати і класифікувати способи кріплення сферичних дисків до рами, узагальнити практичні та теоретичні дослідження пружних стояків та їх аналогів, визначити перспективні шляхи вдосконалення конструкцій;

- провести теоретичні дослідження процесу взаємодії дискового робочого органу на пружному стояку з ґрунтом та розробити його структурну схему;

- розробити математичну модель руху пружного стояка зі сферичним диском, встановити його конструкційні параметри і динамічні характеристики та їх вплив на коливання стояка з причин нестационарності технологічного процесу і зміни сили опору під час функціонування агрегату;

- розробити методику досліджень конструкційних параметрів і динамічних характеристик пружних стояків та експериментальну установку для її виконання;

- оцінити вплив конструкційних параметрів та динамічних характеристик пружного стояка робочого органу на ефективність роботи агрегату з урахуванням випадкового характеру зовнішньої дії реакції ґрунту;

- оцінити техніко-економічну ефективність запропонованих технічних рішень конструкції пружних стояків.

Об'єкт дослідження – процес взаємодії дискового робочого органу на пружному стояку з ґрунтовим середовищем, що враховує випадковий характер реакції ґрунту.

Предмет дослідження – закономірності впливу пружного стояка дискового робочого органу на його взаємодію з ґрунтовим середовищем.

Методи досліджень. Загальна методика досліджень передбачала застосування сучасних методів теоретичних та експериментальних досліджень, теоретичне обґрунтування проводилося з використанням методів математики, теоретичної механіки, теорії коливань, диференціального та інтегрального числення. Експериментальні дослідження проводилися в польових умовах на базі загальноприйнятих та окремих методик, розроблених автором. Методики вимірювання пружних відхилень робочих органів передбачали застосування інформаційно-вимірювального комплексу, для вимірювання зусиль застосовувалися методи тензометрії. Обробку результатів досліджень проведено методами математичної статистики. Використана методика регресійного аналізу.

Наукова новизна одержаних результатів:

вперше:

- розроблено нелінійну математичну модель руху пружного стояка зі сферичним диском, що забезпечує моделювання поведінки пружного стояка під дією збурюючих реакцій ґрунтового середовища на систему;

- встановлено динамічні характеристики пружного стояка під час виконання технологічного процесу сферичним диском;

- з врахуванням параметра зведена маса, обґрунтовано рекомендовані динамічні характеристики та режими руху дискового ґрунтообробного агрегата з пружними стояками, що забезпечують виконання вихідних техніко-технологічних вимог до рівномірності обробітку ґрунту;

набула подальшого розвитку методика лабораторних досліджень параметрів пружних стояків;

удосконалено:

– метод визначення якісних показників виконання технологічного процесу дискатором із застосуванням вимірювань пружних коливань;

– методику оцінювання результатів вимірювань на основі концепції невизначеності;

розроблено методику та експериментальну установку для оцінювання технологічних властивостей пружних стояків зі сферичними дисками.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено та запроваджено у виробництво методику для оцінювання технологічних властивостей і конструкційних параметрів пружних стояків зі сферичними дисками. Результати досліджень впроваджено у виробничі процеси підприємств з виготовлення ґрунтообробної техніки ТОВ «Велес Агро ЛТД» (м. Одеса, акт від 14 жовтня 2014 року) і ПАТ «Ельворті» (м. Кропивницький, акт від 20 липня 2016 року).

За результатами проведеного дослідження розроблено стандарт організацій України СОУ 71.2-37-04604309-018:2015 «Сільськогосподарська техніка. Стояки пружні дискових робочих органів. Методи випробувань».

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи отримано здобувачем особисто, зокрема: обґрунтовано науково-технічні передумови використання пружних стояків для робочих органів дискових ґрунтообробних агрегатів; визначено вплив конструкційних параметрів та динамічних характеристик пружних стояків на процес їх взаємодії з ґрунтовим середовищем; теоретичні та експериментальні дослідження процесу взаємодії пружного стояка сферичного диска з ґрунтовим середовищем; розроблено методи та засобів оцінки властивостей пружних стояків для сферичних дисків.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати роботи заслухані, обговорені і отримали позитивну оцінку на: щорічних міжнародних наукових конференціях, присвячених пам'яті Л. В. Погорілого «Науково-технічні засади розробки, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технологій» (смт Дослідницьке, 2011–2015 рр.); VIII Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Перспективна техніка і технології – 2012» (м. Миколаїв, 2012 р.); XIII Міжнародній науковій конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки», присвяченій 112 річниці з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка (м. Вінниця, 2012 р.); VI Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми енергосбереження. Energia 2012» (м. Сімферополь, 2012 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве» (м. Мінськ, Республіка Білорусь, 2012 р., 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми надійності машин и средств механизации сельскохозяйственного производства» (м. Харків, 2013 р.); IX Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки» (м. Кіровоград, 2013 р.);

XIV Міжнародній науковій конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки», присвяченій 113 річниці з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка (сmt Глеваха, 2013 р.); XX, XXII і XXIII Міжнародній науково-технічній конференції «Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві» (сmt Глеваха, 2012 р., 2014 р., 2015 р.).

Публікації. Основні положення дисертації викладено у 18 наукових працях, з яких 7 статей у фахових виданнях України, 2 статті у наукових виданнях іншої держави, 2 статті в інших наукових виданнях, 2 патенти на корисну модель та 4 тез наукових доповідей. На основі результатів досліджень розроблено стандарт організацій України.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків та списку використаних джерел із 160 найменувань. Загальний обсяг дисертації становить 228 сторінок. Основна частина викладена на 160 сторінках тексту і містить 49 рисунків, 15 таблиць та 10 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі «**Стан та тенденції розвитку дискових ґрунтообробних агрегатів**» проведено аналіз техніко-технологічних показників дискових знарядь в різних системах поверхневого обробки ґрунту, систематизовано типи і форми конструкцій стояків для дискових робочих органів, а також основні результати теоретичних досліджень з обґрунтування параметрів пружних стояків, запропоновано шляхи підвищення ефективності функціонування дискових ґрунтообробних агрегатів з обґрунтуванням конструкційних партерів та динамічних характеристик пружних стояків.

Загальні теоретичні і практичні основи роботи дискових робочих органів викладено в роботах В. П. Горячкіна, Г. Н. Сінеокова, О. П. Панов, А. С. Кушнарьова та ін. Дослідженнями з обґрунтування параметрів пружних стояків займались В. Е. Моргачев, Г. А. Рябцев, Є. Л. Кондратьєв, Г. А. Моххамад, В. П. Базаров, І. А. Шевченко, В. І. Вєтохін, В. П. Дюжаєв, І. В. Ігнатенко, Р. В. Шатров, М. О. Донченко та інші вчені.

Техніко-технологічні властивості дискових ґрунтообробних агрегатів покращуються у разі кріплення дискових робочих органів на пружних стояках за рахунок їх коливань. Обґрунтування конструкційних параметрів і динамічних характеристик стояків, як коливальної системи «ґрунт – диск – пружний стояк», дає можливість підвищити ефективність функціонування агрегатів в частині експлуатаційної надійності та енергозатрат.

Аналіз існуючих наукових досліджень свідчить, що значний вплив на процес функціонування ґрунтообробного робочого органу на пружному стояку характеризується моделями, що враховують вплив емпіричних факторів та конструкційних параметрів з матрицями коефіцієнтів. Застосування складних моделей робить практично неможливим аналітичне розв'язання задачі опису руху пружного стояка зі сферичним диском.

Отже, необхідно вирішити науково-прикладне завдання – обґрунтувати динамічні характеристики та конструкційні параметри пружного стояка дискових ґрунтообробних агрегатів.

У другому розділі «**Теоретичні дослідження взаємодії дискового робочого органу на пружному стояку з ґрунтом**» наведено теоретичні дослідження з обґрунтування конструкційних параметрів та динамічних характеристик пружних стояків дискових робочих органів.

Процес взаємодії пружно закріпленого сферичного диска з ґрунтом можна узагальнити за схемою концепції, в основі якої лежить зустрічно-паралельне поєднання двох частин: «пружне кріплення», що характеризує пружні відхилення робочого органу, та «тяговий опір» – енергетика технологічного процесу (рис. 1).

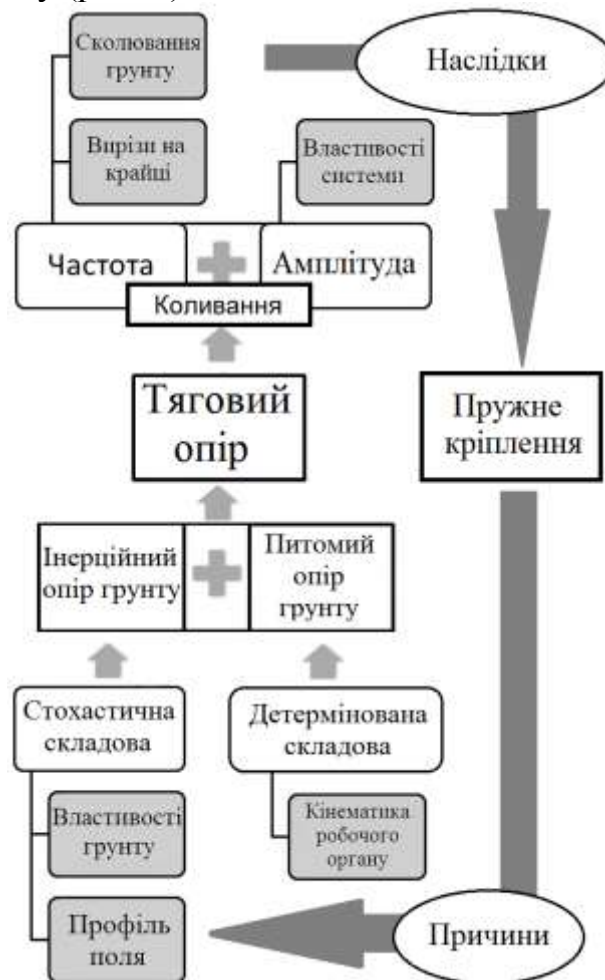


Рис. 1. Структурна схема діючих факторів у процесі взаємодії пружно закріпленого диска з ґрунтом

Невизначеність дії ґрунтового середовища прийнято розглядати за двома складовими – регулярною та випадковою, що передаються на стояк, як навантаження. Сукупний вплив неоднорідності ґрунту визначає зовнішню дію на процес взаємодії дискового робочого органу на пружному стояку з ґрунтовым середовищем.

Оцінюючи вплив конструкційних параметрів стояків на стійкість ходу дискового робочого органу у вертикальній площині під дією складових (R_z

R'_x) опорів ґрунту, отримано залежності пружних відхилень (δ_z) з використанням метода Мора:

- для гвинтового стояка:

$$\delta_z = \delta_{zR'_x} + \delta_{zR_z}, \quad (1)$$

де $\delta_{zR'_x}$ – відхилення стояка від горизонтальної складової сил опору, мм;

δ_{zR_z} – відхилення стояка від вертикальної складової сил опору, мм;

- для стояка С-подібної форми:

$$\delta_z = \frac{r^3}{EI} \left(\frac{\pi R_z}{2} + 2R'_x \right), \quad (2)$$

де r – радіус заокруглення стояка, мм;

- для спірального стояка:

$$\delta_z = 2,355 \frac{F_{z_{опору}} \cdot r^3}{E \cdot I} + h_{cm} \cdot \sin \left(\arctg \left(2,355 \frac{F_{опору} \cdot h_{cm} \cdot r^3}{E \cdot I \cdot l_{cm}^2} \right) + \frac{F_{опору} \cdot h_{cm} \cdot l_{cm}}{E \cdot I} \right), \quad (3)$$

де E – модуль пружності 1-го роду (для сталі $E = 2 \cdot 10^5 \frac{H}{мм^2}$);

I – момент інерції перерізу стояка, мм⁴.

Рух сферичного диска в системі відліку, що жорстко пов'язана з рамою агрегата і переміщується поступально разом з ним, є просторовим коливанням навколо положення рівноваги. Ці коливання відбуваються під дією моментів, прикладених до механічної системи, що складається з пружного стояка, підшипникового вузла, диска та ґрунту на диску (далі – система «ґрунт – диск – пружний стояк»). До таких моментів можна віднести: момент пружних сил; момент сил тяжіння; момент реакційних сил опору переміщенню диска.

З достатньою для практичних цілей точністю, рух сферичного диска на пружному стояку можна представити рухом з одним ступенем вільності, який однозначно виражається через відхилення пружного стояка.

Такий рух описується за допомогою однієї узагальненої координати λ , якою виступає кут відхилення стояка від положення, що його він займає в стані статичної рівноваги (рис. 2).

Рух коливальної системи «ґрунт – диск – пружний стояк» задано однозначно, якщо узагальнена координата виражена як функція часу. Момент відносно точки кріплення стояка до бруса рами з урахуванням рівнодійної пружних сил, що виникають від ваги агрегату, яка припадає на стояк, та зовнішньої дії (опору ґрунту), буде дорівнювати:

$$M_{пруж} = c \cdot l^2 \cdot \sin \lambda, \quad (4)$$

де c – коефіцієнт жорсткості стояка, Н/м;

l – зведена довжина стояка, м.

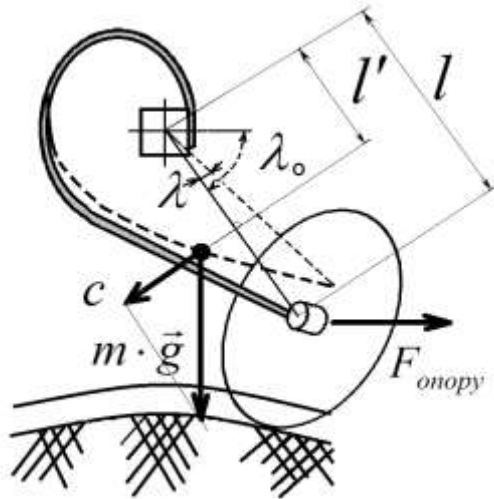


Рис. 2. Розрахункова схема динамічної моделі: λ – узагальнена координата, град; c – коефіцієнт жорсткості стояка, Н/м; $m \cdot \bar{g}$ – сила ваги (зведена маса), Н; $F_{опору}$ – сила опору ґрунту, Н; l – зведена довжина стояка (пряма від початку відліку, що жорстко пов’язаний з корпусом агрегату і переміщується поступально разом з ним до точки перетину з віссю обертання диска у вертикальній площині), м; l' – відстань по зведеній довжині до перетину з перпендикуляром до l від центра ваги стояка з диском, м.

Під час переміщення стояка, за якого параметр λ відмінний від початкового, сила ваги дорівнюватиме $m \cdot \bar{g}$, а її складова перпендикулярна променю, проведеному по зведеній довжині стояка l до центра ваги l' , становити $m \cdot g \cdot \cos(\lambda_0 + \lambda)$ (виходячи з теореми про кути із взаємно перпендикулярними сторонами). Момент сил ваги відносно точки кріплення стояка до бруса рами дорівнюватиме:

$$M_{ваги} = l' \cdot m \cdot g \cdot \cos(\lambda_0 - \lambda). \quad (5)$$

Головний момент від сил опору переміщення диска в ґрунті:

$$M_{опору} = -l \cdot F_{опору}(t, V) \cdot \sin \lambda, \quad (6)$$

де $F_{опору}(t, V)$ – сила опору ґрунту (навантаження на пружний стояк), Н.

Ґрунтуючись на принципі Д'Аламбера, отримано диференціальне рівняння руху пружного стояка:

$$I \cdot \ddot{\lambda} = -c \cdot l^2 \cdot \sin \lambda + l' \cdot m \cdot g \cdot \cos(\lambda_0 - \lambda) - l \cdot F_{опору}(t, V) \cdot \sin \lambda, \quad (7)$$

де I – момент інерції системи відносно точки кріплення стояка до бруса рами.

Розділивши в (7) обидві частини рівності на I і позначивши коефіцієнти, що стоять в отриманому рівнянні при $\cos \lambda$ і $\sin \lambda$, через A і B , отримаємо рівність (7):

$$\ddot{\lambda} = A \cdot \cos \lambda - B \cdot \sin \lambda. \quad (8)$$

Нелінійне диференціальне рівняння (8) неможливо розв'язати за допомогою елементарних функцій, тому рішення виразимо еліптичними функціями Якобі.

Введемо нову шукану функцію $\psi = \psi(t)$, приймаючи $\psi = \ddot{\lambda}$. Тоді:

$$\ddot{\lambda} = \frac{d\psi}{dt} = \frac{d\psi}{d\lambda} \cdot \frac{d\lambda}{dt} = \psi \frac{d\psi}{d\lambda}. \quad (9)$$

З огляду на (8) і (9), функція $\psi = \psi(t)$ задовольняє рівність:

$$\psi \frac{d\psi}{d\lambda} = A \cdot \cos \lambda - B \cdot \sin \lambda. \quad (10)$$

Тим самим диференціальне рівняння другого порядку (8) зведено до рівняння першого порядку (10), яке може бути повністю проінтегроване в елементарних функціях.

Для з'ясування фізичного змісту рівняння (9) застосуємо функцію $U = U(\lambda)$, що визначається рівністю:

$$U = -(A \sin \lambda + B \cos \lambda). \quad (11)$$

Функція $U = U(\lambda)$ залежить лише від координати λ і є потенціальною енергією. З (10) і (11) маємо:

$$0,5\psi^2 + U = \text{const}. \quad (12)$$

Рівність (12) показує, що сума потенціальної і кінетичної енергії постійна і є першим інтегралом рівнянь руху пружного стояка. Тим самим підтверджується правильність вибраної динамічної моделі.

Введемо параметр μ_0 для встановлення початкової фази коливань, який визначається початковими умовами та виражається як:

$$\mu_0 = \text{arctg} \frac{A}{B}, \quad 0 \leq \mu_0 < \frac{\pi}{2}. \quad (13)$$

З чого випливає:

$$\psi^2 = 2B \cdot \sec \mu_0 [\cos(\mu_0 - \lambda) - \cos \mu_0] = 4B \cdot \sec \mu_0 (\sin^2 \frac{\mu_0}{2} - \sin^2 \frac{\mu_0 - \lambda}{2}). \quad (14)$$

Вводимо нову функцію $\varepsilon = \varepsilon(t)$, та знаходимо на основі (7) $\dot{\varepsilon} = \dot{\lambda} = \psi$. Звідки:

$$-\mu_0 \leq \varepsilon \leq \mu_0. \quad (15)$$

Отже, рух має коливальний характер, амплітуда коливань якого дорівнює $2\mu_0$.

Введемо нову шукану функцію $\eta = \eta(t)$, пов'язану з $\varepsilon = \varepsilon(t)$ співвідношенням:

$$\sin \frac{\varepsilon}{2} = k \cdot \sin \eta, \quad (16)$$

Аналізуючи вираз (16), можна зробити висновки: а) функція $\eta = \eta(\varepsilon)$ неперервна на відрізку $[-\mu_0; \mu]$; б) якщо $\varepsilon \rightarrow \mu_0 - O$, то $\eta' \rightarrow \infty$, і при цьому $\eta'(\varepsilon) = O(\frac{1}{\sqrt{\mu_0 - \varepsilon}})$ для $\varepsilon \rightarrow \mu_0 - O$, де O – символ Ландау; аналогічно, якщо $\varepsilon \rightarrow -\mu + O$, то $\eta' \rightarrow \infty$ і при цьому $\eta'(\varepsilon) = O(\frac{1}{\sqrt{-\mu_0 + \varepsilon}})$.

За попередніми залежностями встановлено: при зростанні ε від $-\mu_0$ до μ_0 (відповідно при спаданні від μ_0 до $-\mu_0$) функція $\eta = \eta(\varepsilon)$ зростає (спадає) від $-\pi/2$ до $\pi/2$ (від $\pi/2$ до $-\pi/2$).

Увесь проміжок часу, протягом якого проходить процес, можна розбити на суміжні інтервали $]t_{i-1}; t_i[$, $i \in N$; під час кожного з них напрям руху пружного стояка не змінюється, тобто протягом кожного з цих інтервалів відбувається лише заглиблення чи виглиблення сферичного диска з ґрунту.

Для будь-якого $n \in N$ знак буде «+» при $t_{2n-1} < t < t_{2n}$ і «-» при $t_{2n} < t < t_{2n+1}$. Знайдемо закон руху диска на пружному стояку під час робочого процесу. Для цього виберемо довільне t , що задовольняє умову (n -довільне):

$$t_{2n} < t < t_{2n+1}. \quad (17)$$

З теорії еліптичних функцій застосуємо еліптичний синус, що позначається через sn та визначається рівністю $sn u = \sin(amu)$. Тоді:

$$\sin \eta = sn C_0(t - t_0), \quad (18)$$

а з використанням (15) і (18) випливає, що

$$\lambda = \mu_0 + 2 \cdot \arcsin(k \cdot sn C_0(t - t_0)). \quad (19)$$

Рівність (19) описує закон руху системи «ґрунт – диск – пружний стояк» під час процесу обробки ґрунту і показує: коливання не гармонічні, не стохастичні, їх період $\frac{4}{C_0} K(k)$, амплітуда – μ_0 .

За аналітичним рівнянням (19) отримано графічні залежності (рис. 3).

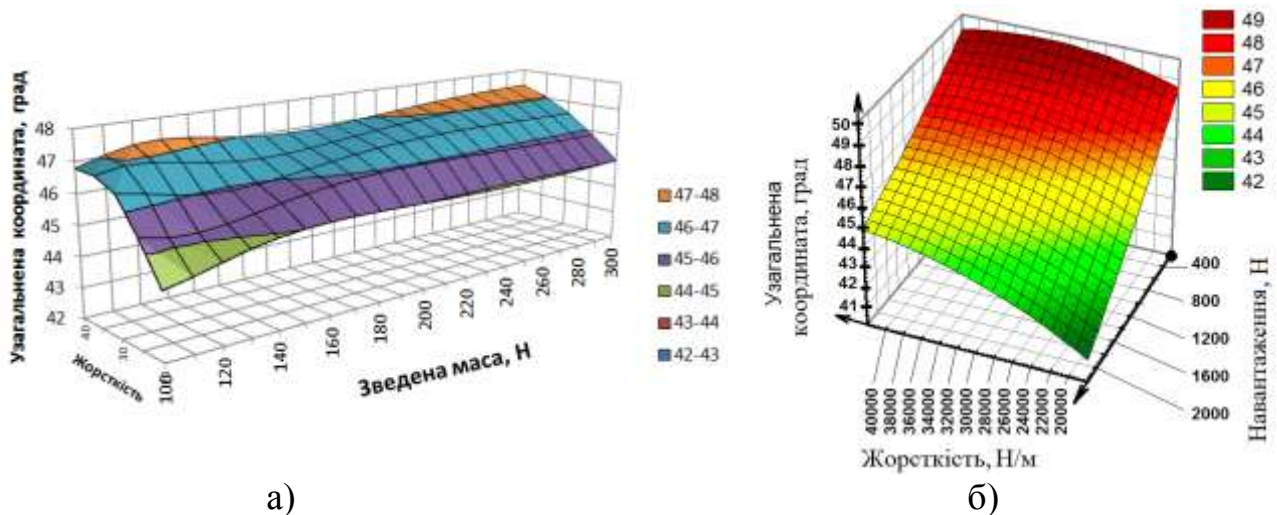


Рис. 3. Зміна узагальненої координати: а – від величини зведеної маси та жорсткості пружного стояка ($\bar{F}_{1опору} = 1200 \text{ Н}$); б – від величини навантаження.

За коливаннями пружного стояка виконано спостереження показника якості виконання технологічного процесу дискатором – рівномірності ходу по глибині робочого органа, що може бути забезпечено за умови:

$$H \cdot (1 - \sin \lambda) \leq \Delta, \quad (20)$$

де Δ – агротехнічний допуск рівномірності ходу по глибині робочого органа (для дискових знарядь середньоквадратичне відхилення – 15 мм);

H – відстань по вертикалі між горизонтальною площиною в точці кріплення пружного стояка з рамою агрегата до дна борозни обробленого ґрунту, мм.

Перевищення допустимого значення амплітуди коливань системи порушує рівномірність обробки ґрунту.

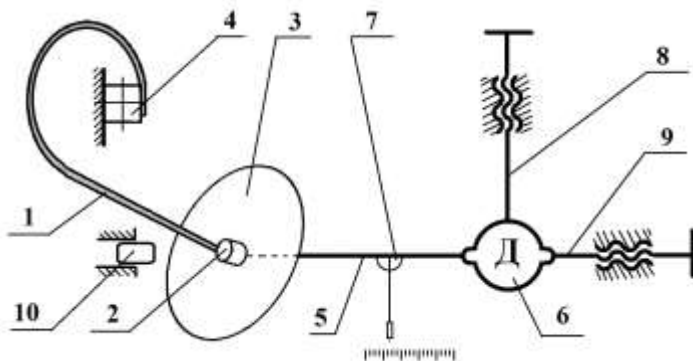
У третьому розділі «Програма і методика експериментального дослідження пружних стояків для сферичних дисків» наведено програму та методику проведення експериментальних лабораторних та польових досліджень.

Програма досліджень передбачала:

- обґрунтувати схему вимірювального комплексу з оцінювання динамічних характеристик пружного стояка для сферичного диска;
- визначити конструкційні параметри та динамічні характеристики пружного стояка;
- оцінити вплив динамічних характеристик пружного стояка робочого органу на ефективність функціонування агрегата з урахуванням випадкового характеру реакції ґрунту (польові дослідження);
- порівняти теоретичні й експериментальні дані на їх відповідність.

Обґрунтовано схему вимірювального комплексу з урахуванням структури інформаційного потоку зміни властивостей ґрунту. На стояку розміщували тензодатчики КФ-5П1, з'єднували їх за схемою «повний міст» і підключали до входу аналого-цифрового перетворювача SPIDER-8 з програмним забезпеченням CatMan Express 4.5. Перетворювач здійснював опитування датчиків з частотою 250 Гц, аналогово-цифрове перетворення сигналів та формування цифрового масиву в форматі *.xls. Датчики з'єднували з апаратурою кабелем, захищеним від завад.

Для проведення експериментальних досліджень (випробування та оцінювання роботоздатності пружних стояків) розроблено експериментальну установку (рис. 4).



а)



б)

Рис. 4. Експериментальна установка (технічний засіб) для випробування та оцінювання роботоздатності пружних стояків: а – структурна схема; б – загальний вигляд; 1 – пружний стояк сферичного диска; 2 – підшипниковий вузол; 3 – робочий орган (сферичний диск); 4 – нерухома основа; 5 – трос; 6 – динамометр; 7 – рівень; 8 – гвинтовий вертикальний регулятор; 9 – гвинтовий горизонтальний регулятор; 10 – ударний механізм для виведення стояка з положення рівноваги.

Отримана в результаті лабораторних експериментів інформація представлена у вигляді тарувальних залежностей «відхилення» та «навантаження».

Моделювання зміни динамічних характеристик пружних стояків проводили додаванням зосереджених мас до кріплення робочого органу з підшипниковим вузлом (фактор впливу на рівнях: зведена маса та маса плюс додана вага). Дослідження проведено з використанням багаторівневого експерименту. Особливостями та водночас перевагами цієї схеми є найбільш повне оцінювання процесу дослідження (табл. 1). Підвищення інтенсивності зовнішньої дії (збільшенням поступальної швидкості) визначає рівень впливу на пружний стояк, а баластне довантаження – підрівень.

Таблиця 1

Схема досліджень

Фактор впливу				Параметр оптимізації					
Поступальна швидкість, v , км/год		Зведена маса, m , Н		Зовнішня дія / тяговий опір, H		Відхилення, мм		Узагальнена координата, град.	
Рівень (всього рівнів)	Інтервал варіювання	Рівень (всього рівнів)	Інтервал варіювання	Середнє значення	Середньо-квадратичне відхилення	Середнє значення	Середньо-квадратичне відхилення	Середнє значення	Середньо-квадратичне відхилення
1 (5)	2	30	0,5 (2)	F	$F_{СКВ}$	δ	$\delta_{СКВ}$	λ	$\lambda_{СКВ}$

Параметри процесу фіксували в реальному масштабі часу в процесі робочих заїздів агрегата, із заданим кроком квантування. Розглядалися ділянки записів з усталеним режимом навантаження. Сформований цифровий масив від аналого-цифрового перетворювача містить кілька тисяч значень досліджуваної величини. При великій кількості спостережень « n » похибка досліджень становить менше 0,5–1%. За тарувальними залежностями «навантаження» виконували обробку цифрового масиву значень зовнішньої дії, з якого визначали статистичні параметри процесу.

Для обробки експериментальних даних застосовано методики математичного планування та статистики. Оцінювання результатів вимірювань виконано на основі концепції невизначеності, яка характеризує дисперсію значень, що можуть бути досить обґрунтовано приписані вимірюваній величині.

За опрацьованими методами визначення параметрів пружних стояків розроблено стандарт організацій України СОУ 71.2-04604309-018:2015 «Сільськогосподарська техніка. Стояки пружні дискових робочих органів. Методи випробувань».

У четвертому розділі «**Результати експериментальних досліджень пружних стояків**» наведено результати експериментальних лабораторних та польових досліджень і виконано їх аналіз.

Опрацьовано методики визначення конструкційних параметрів та динамічних характеристик пружних стояків на запропонованій, виготовленій та апробованій конструкції експериментальної установки, встановлено значення зведеної маси (рис. 5, а), характеристику жорсткості та виконано спостереження за вільними коливаннями пружного стояка (рис. 5, б).

Польові експериментальні дослідження проводили під час знищення сходів падалиці зернових культур (друге лущення). Експериментальний пружний стояк було прикріплено до рами агрегату ДЛ-2,5 (рис. 6).

Виявлено, що процес взаємодії дискового робочого органу на пружному стояку з ґрунтом є нестационарним, а його статистичні характеристики змінюються в часі (рис. 7). Нестационарність процесу є наслідком швидкозмінних умов роботи в ґрунтовому середовищі та впливу мезо- та мікрорельєфу поверхні поля.

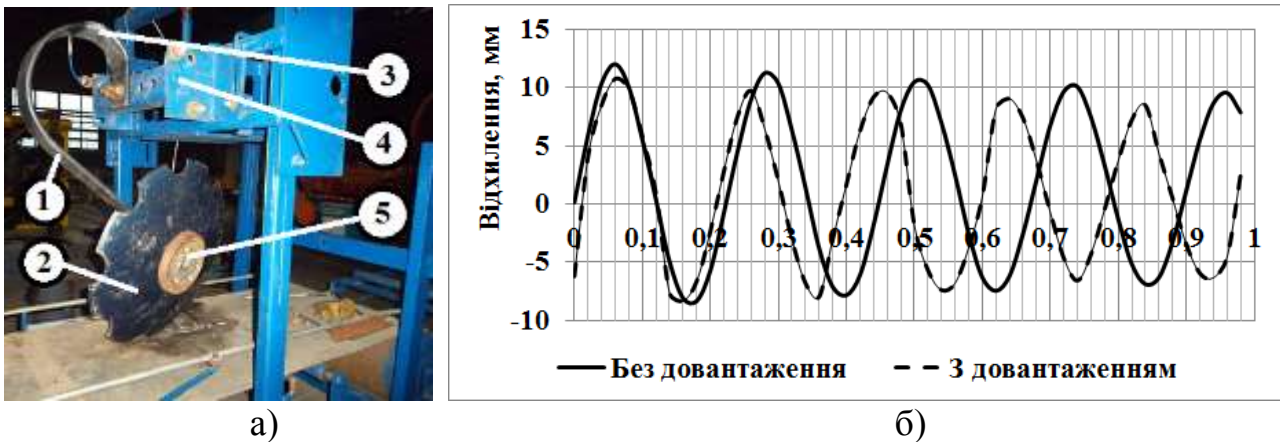


Рис. 5. Проведення лабораторних досліджень: а – зовнішній вигляд пружного стояка з баластним довантаженням під час визначення зведеної маси; 1 – пружний стояк сферичного диска; 2 – робочий орган (сферичний диск); 3 – тензорезистори на поверхні пружного стояка; 4 – нерухома основа; 5 – баластне довантаження; б – вільні коливання пружного стояка.

Імовірнісні закони для миттєвих значень показників процесу взаємодії ґрунту з робочим органом на пружному стояку (рис. 7, б) показують дві вершини в ряду розподілу, що свідчать про неоднорідність досліджуваного явища, ступінь асиметрії розподілів знаходиться в межах від 0,1 до $-0,1$.

Форма автокореляційної функції (рис. 7, в) перетинає нульове значення, що відповідає періоду прихованого періодичного коливання, але оскільки вплив випадкового шуму вагомий, то при значних рівнях зсуву значення коефіцієнта кореляції спрямовується до нуля.

Спектральний аналіз (рис. 7, г) показує, що коливання стояка – змішаний випадковий процес з полігармонічною детермінованою складовою.

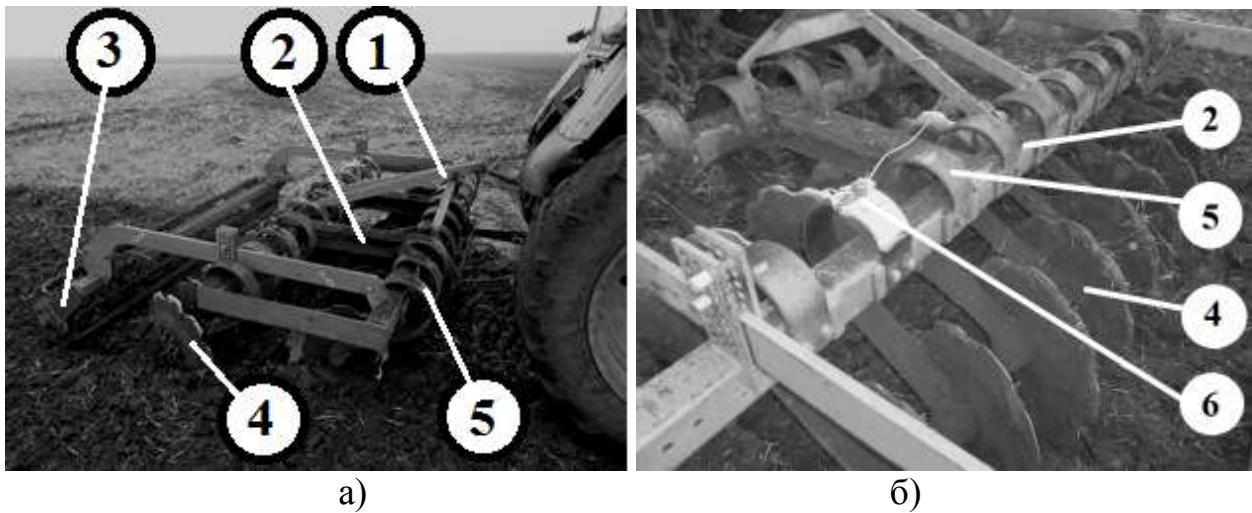


Рис. 6. Загальний вигляд дискатора з пружними стояками: а – загальний вигляд агрегата; б – пружні стояки, що досліджуються; 1 – навісний пристрій; 2 – рама агрегата; 3 – коток; 4 – робочий орган (сферичний диск); 5 – пружний стояк; 6 – тензорезистори на поверхні пружного стояка.

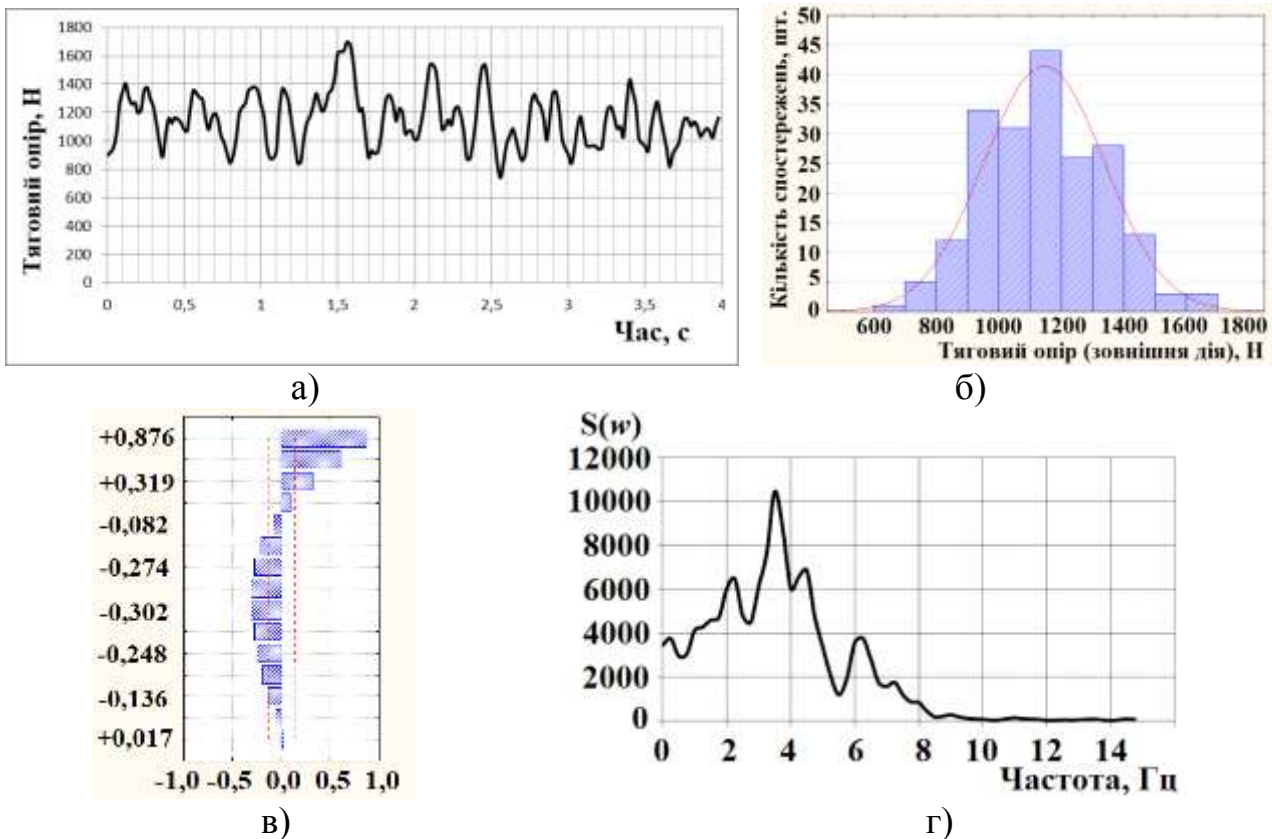


Рис. 7. Статистичні характеристики процесу взаємодії робочого органу на пружному стояку з ґрунтом: а – перебіг процесу реакції пружного стояка на зовнішню дію; б – щільність розподілу; в – автокореляційна функція; г – спектральний аналіз.

Результати досліджень свідчать про зміну відгуку пружного стояка на взаємодію з ґрунтовим середовищем у разі довантаження на робочому органі. Зростання тягового опору $F = 118\text{--}130$ кг від швидкості агрегату без довантаження на робочому органі склало 17 %, а з довантаженням

$F_{вантаж} = 117-124$ кг, або 11 %. За поступальної швидкості агрегату 4 м/с різниця між варіантами довантаження становить 10 % (рис. 8, рис. 9).

Віброактивність $F_{СКВ} = 18-29$ кг пружного стояка без довантаження зростає майже лінійно і в діапазоні швидкостей від 1,9 до 4 м/с зростає на 78 %, а за умови довантаження на 136 % – в 2,36 раза. Зростання віброактивності на робочому органі впливає на ґрунтове середовище і знижує його опір до руйнування, що й пояснює зменшення сили опору при довантаженні.

Оцінювання технологічних параметрів роботи дискатора з пружними стояками виконано за статистичними характеристиками пружних відхилень в процесі взаємодії робочого органу з ґрунтом (рис. 10, 11).

Середньоквадратичне відхилення пружного стояка характеризує рівномірність глибини обробітку робочим органом, відповідно до вихідних вимог на агрегат нерівномірність $\sigma = 15$ мм. Тобто, підвищення енергетичної ефективності агрегата (зниження тягового опору) обмежується якісним показником технологічного процесу на значенні швидкості 4 м/с.

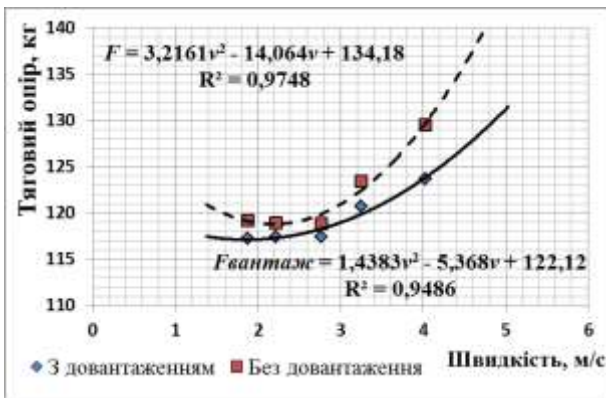


Рис. 8. Графічна залежність зміни тягового опору від поступальної швидкості агрегату (з перерахунку за тарувальними залежностями)

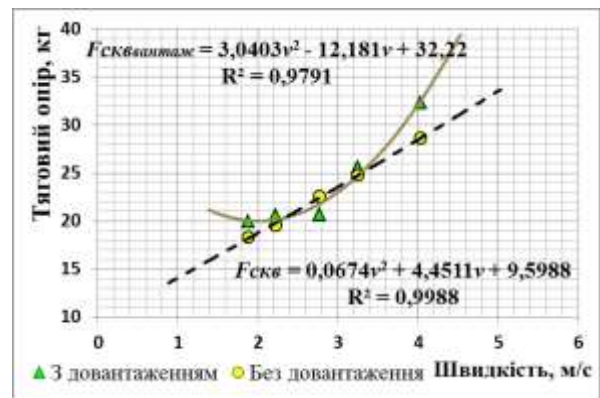


Рис. 9. Графічна залежність зміни середньоквадратичного відхилення тягового опору від поступальної швидкості агрегату

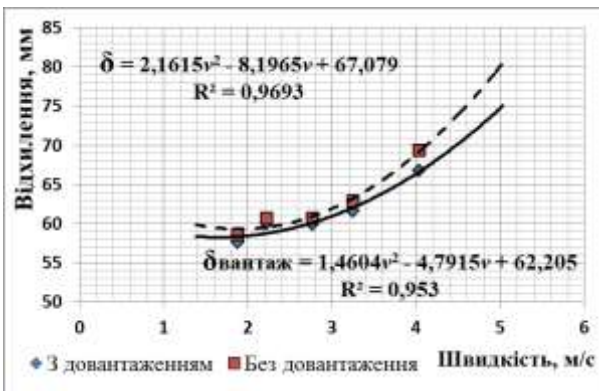


Рис. 10. Графічна залежність зміни середнього значення відхилень стояка від поступальної швидкості агрегату (з перерахунку за тарувальними залежностями)

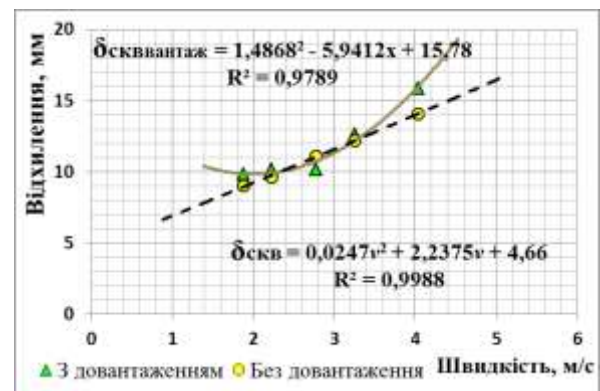


Рис. 11. Графічна залежність $\sigma = f(\delta)$ зміни середньоквадратичного значення відхилень стояка при зміні поступальної швидкості агрегату

Віброактивність $F_{СКВ}=18-29$ кг пружного стояка без довантаження зростає майже лінійно і в діапазоні швидкостей від 1,9 до 4 м/с зростає на 78 %, а за умови довантаження на 136 % – в 2,36 рази. Зростання віброактивності на робочому органі впливає на ґрунтове середовище і знижує його опір до руйнування, що й пояснює зменшення сили опору при довантаженні.

Оцінювання технологічних параметрів роботи дискатора з пружними стояками виконано за статистичними характеристиками пружних відхилень в процесі взаємодії робочого органу з ґрунтом (див. рис. 10, 11).

Середньоквадратичне відхилення пружного стояка характеризує рівномірність глибини обробітку робочим органом, відповідно до вихідних вимог на агрегат нерівномірність $\sigma=15$ мм. Тобто, підвищення енергетичної ефективності агрегата (зниження тягового опору) обмежується якісним показником технологічного процесу на значенні швидкості 4 м/с.

Виходячи з критерію мінімального тягового опору, оптимальний швидкісний режим становить 10 км/год, а значення тягового опору – близько 120 кг на один стояк.

Порівнюючи невизначеності вимірювань, можна зробити висновок, що з баластним довантаженням на робочому органі вплив випадкових складових на процес взаємодії сферичного диска на пружному стояку з ґрунтом, щонайменше в півтора рази, менший.

Проведено порівняння теоретичних та експериментальних результатів досліджень зміни узагальненої координати під час виконання технологічного процесу (рис. 12), різниця значень за різних режимів руху агрегата зростає в міру збільшення швидкості, інтенсивність зниження при швидкості 4 м/с більша на 1,33 % від теоретичної залежності. Середнє відхилення експериментальних даних (режим 2,77 м/с) від теоретичних становить 0,164 град., що не перевищує розширеної невизначеності вимірювань.

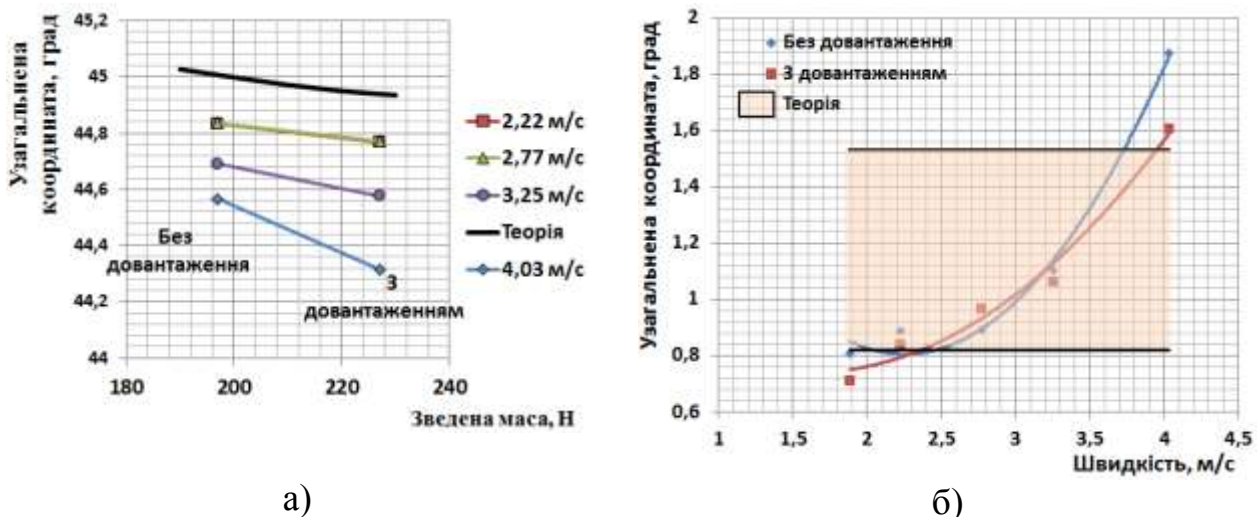


Рис. 12. Порівняння теоретичних залежностей та експериментальних даних: а – значення узагальненої координати в положенні динамічної рівноваги; б – значення узагальненої координати як середньоквадратичного відхилення від положення динамічної рівноваги.

У співставленні теоретично отриманих залежностей відхилень узагальненої координати від положення динамічної рівноваги з середньоквадратичними значеннями експериментальних даних помітно суттєве їх зближення за областю значень. Нижня межа області значень, отриманих теоретичним шляхом (рис. 12, б), зближується з експериментальними даними за режиму 2,22 м/с, верхня межа за режиму – 3,25 м/с, при цьому відхилення за значеннями перевищують невизначеність вимірювань в 4,3 і в 1,7 рази відповідно. Тобто, можна зробити висновок, що відхилення від положення динамічної рівноваги визначають впливом ґрунтового середовища, проте із збільшенням зведеної маси невизначеність стає меншою – процес взаємодії сферичного диска на пружному стояку з ґрунтом набуває кращої керованості в 2,5 рази.

На основі аналізу експериментальних досліджень запропоновано методику інженерних розрахунків, що наведена у вигляді номограми оптимальних параметрів пружного стояка дискового робочого органу.

У п'ятому розділі **«Економічна ефективність та результати впровадження пружних стояків для дискових робочих органів»** наведено розрахунки техніко-економічної ефективності впровадження пружних стояків для дискових робочих органів.

Річний економічний ефект від впровадження пружних стояків з обґрунтованими динамічними характеристиками (частотами в межах 1,6–4 і 3,5–7 Гц та амплітудами коливань – 1–9 і 2,5 град.) досягнуто завдяки зменшенню витрат на паливно-мастильні матеріали (на 7,8 % менше від витрат у базової машини) і становить 9,55 грн/га при забезпеченні якості обробітку ґрунту відповідно до вимог технологічного процесу.

Розроблені та удосконалені методики викладено в нормативному документі СОУ 71.2-37-04604309-018:2015 «Сільськогосподарська техніка. Стояки пружні дискових робочих органів. Методи випробувань».

Результати досліджень впроваджено у виробничі процеси підприємства з виготовлення ґрунтообробної техніки ТОВ «Велес Агро ЛТД» (м. Одеса) (акт впровадження від 14 жовтня 2014 року) та ПАТ «Ельворті» (м. Кропивницький) (акт впровадження від 20 липня 2016 року).

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено теоретичне узагальнення та вирішення науково-практичного завдання підвищення ефективності дискових ґрунтообробних агрегатів шляхом обґрунтування конструкційних параметрів та динамічних характеристик пружних стояків робочих органів в системі «ґрунт – диск – пружний стояк».

1. Досліджено, що конструкційний спосіб встановлення сферичних дисків на індивідуальних пружних стояках підвищує техніко-технологічні властивості агрегата. Диски, встановлені на пружних стояках, виконують коливання, які знижують енерговитрати під час обробітку ґрунту.

Динамічні характеристики системи «грунт – диск – пружний стояк», що чинять вплив на показники процесу взаємодії з ґрунтом, недостатньо вивчені та потребують додаткового дослідження.

2. Запропоновано структурну схему процесу взаємодії сферичного диска з ґрунтом, в якій коливання робочого органу на пружному стояку, з певною амплітудою і частотою, створює зворотний зв'язок в системі «грунт – диск – пружний стояк».

Розроблено математичну модель та здійснено теоретичне дослідження зміни сил опору дискового робочого органу на пружному стояку. Динамічні характеристики пружного стояка під час функціонування агрегата визначено в межах варіювання жорсткості від 20 до 40 кН/м, зведеної маси від 100 до 300 Н, сили тягового опору від 200 до 2000 Н.

3. Вперше досліджено коливання пружного стояка з причин нестационарності технологічного процесу. Визначено еквіваленти зміни параметрів пружного стояка відповідно до зведеної маси та жорсткості. А саме, амплітуда основного коливання стояка зростає на 1 град. від зміни зведеної маси на 280 Н, або жорсткості пружного стояка – на 32 кН/м. Частота основного коливання стояка зростає на 1 Гц від зміни зведеної маси на 150 Н, або жорсткості пружного стояка – на 27 кН/м.

4. За розробленими методами тарування пружного стояка на експериментальній установці отримано залежності «відхилення» та «навантаження». Останні свідчать, що залежність відхилень стояка від навантаження має лінійний характер, стояк з динамічними характеристиками та конструкційними параметрами досліджуваного зразка має декремент коливань 0,08, зведену масу – 197 Н, частоту власних коливань – 4,3 Гц.

Встановлено, що процес взаємодії дискового робочого органу на пружному стояку з ґрунтом є нестационарним, а його статистичні властивості змінюються в часі. Підтверджено припущення, що сила опору ($\vec{F}_{опору}$) може розглядатися як сума «регулярної» складової та складової динамічних відхилень, обумовлених неоднорідністю процесу взаємодії з ґрунтом.

5. Отримані з експериментальних досліджень залежності свідчать про зміну характеристик взаємодії з ґрунтовим середовищем робочого органу на пружному стояку за умови зміни зведеної маси. При роботі агрегату, з типовими пружними стояками, зростання сили тягового опору при зміні швидкості від 2 до 4 м/с склало 17 %, при роботі зі стояками з обґрунтованими показниками зведеної маси – 11 %, що підтверджує вагомість впливу зведеної маси на показники процесу. За швидкості агрегата 4 м/с перевага пружних стояків з обґрунтованими параметрами становить різницю у 5 %, або 60 Н на кожен стояк.

Зміна відгуку пружного стояка (з обґрунтованою зведеною масою) на взаємодію з ґрунтовим середовищем викликає зростання середньоквадратичного відхилення на 10 %, що означає збільшення коливальної енергії на робочому органі в межах забезпечення якості виконання технологічного процесу згідно з вимогами до рівномірності глибини обробітку.

6. З використанням удосконаленої методики оцінювання результатів вимірювань визначено, що вплив випадкових складових на процес взаємодії системи «грунт – диск – пружний стояк», щонайменше в півтора рази, менший для робочих органів з обґрунтованою зведеною масою.

Середня різниця експериментальних та теоретичних даних за параметром відхилень стояка становить 0,164 град. (режим швидкості 2,77 м/с), що не перевищує розширеної невизначеності вимірювань.

7. Визначені за результатами досліджень рекомендовані раціональні параметри пружних стояків: жорсткість (20–40 кН/м); зведена маса (100–300 Н), частота (1,6–4 і 3,5–7 Гц) та амплітуда (1–9 і 2,5 град) коливань. Встановлено, що застосування пружних стояків з визначеними параметрами, у порівнянні з типовим пружним стояком, параметри якого обґрунтовано лише за функціональною необхідністю захисту робочого органу від перевантаження, дає можливість зменшити енергоємність процесу обробітку ґрунту дисковим робочим органом на 7%, не погіршуючи при цьому якість виконання технологічного процесу.

8. Очікуваний економічний ефект від впровадження пружних стояків з встановленими параметрами досягається завдяки зменшенню тягового опору (витрат на паливно-мастильні матеріали) і становить 9,55 грн/га. Результати досліджень прийнято для впровадження на ТОВ «Велес Агро ЛТД» та ПАТ «Ельворті», використано при формуванні стандарту СОУ «Сільсько-господарська техніка. Стойки пружні дискових робочих органів. Методи випробувань» (2015 р.).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Гапоненко О. І. Прогнозування ресурсу пружних стійок робочих органів ґрунтообробних машин // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2011. Вип. 15 (29). С. 246–252.

2. Горбатов В. В., Пивовар І. В., Гапоненко О. І. Встановлення режимів експлуатаційного навантаження пружних стійок сферичних дисків на стенді з електрогідравлічним віброрушієм // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2012. Вип. 16 (30). К. 1. С. 238–244. *(Здобувачем розглянуто підходи встановлення відповідності між технологічними властивостями дискового ґрунтообробного агрегату та конструкцією пружної стійки для сферичного диска).*

3. Гапоненко О. І. Методика встановлення залежності динамічних навантажень від характеристик пружних стійок робочих органів // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2013. Вип. 139. С. 327–331.

4. Гапоненко О. І. Теоретичне обґрунтування параметрів пружних стійок для сферичних дисків // Механізація та електрифікація сільського господарства. 2013. Вип. 97. Т. 1. С. 187–194.

5. Гапоненко О. І. Дослідження пружного кріплення робочих органів дискатора // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2013. Вип. 14 (28). К. 1. С. 191–195.

6. Гапоненко О. І. Вплив конструкційних параметрів пружної ланки кріплення сферичного диска на стійкість його ходу // Механізація та електрифікація сільського господарства. 2013. Вип. 98. Т. 1. С. 292–297.

7. Гапоненко О. І. Експериментальні дослідження роботи сферичного диска на пружному кріпленні // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2013. Вип. 43. Ч. II. С. 61–66.

Статті у іноземних наукових фахових виданнях:

8. Гапоненко А. И. К формализации процесса взаимодействия сферического диска с почвой // MOTROL Commissione of motorization and energetics in agriculture. 2012. Vol. 14. P. 45–49.

9. Гапоненко А. И. Исследования взаимодействия с почвой рабочих органов на упругих стойках // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2015. № 49. С. 87–92.

Статті в інших наукові видання:

10. Гапоненко О. І. Програмування рівномірності обробітку дисковими робочими органами на пружних стійках // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: технічні науки. 2012. Вип. 11 (66). Т. 1. С. 135–141.

11. Гапоненко О. І. Вираження невизначеності процесу вимірювань тягового опору пружного стояка дискового робочого органу // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2015. Вип. 19 (33). С. 194–198.

Патенти на корисну модель:

12. Патент на корисну модель № 71281 Україна, А01В 23/00. Стійка ґрунтообробного робочого органу дискової борони (дискатора). Кравчук В. І., **Гапоненко О. І.**; заявник і патентовласник Державна наукова установа «УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого». № u 201115136; заявлено 21.12.2011; опубліковано 10.07.2012; Бюл. № 13. *(Здобувачем здійснено патентний пошук та запропоновано конструкцію стояка зі змінним поперечним перерізом по довжині).*

13. Патент на корисну модель № 85251 Україна, А01В 23/00. Агрегат дисковий. Кравчук В. І., **Гапоненко О. І.**; заявник і патентовласник В. І. Кравчук, О. І. Гапоненко. № u 201307162; заявлено 06.06.2013; опубліковано 11.11.2013, Бюл. № 21. *(Здобувачем здійснено патентний пошук та запропоновано компонування кріплення на двох стояках).*

Стандарт організацій України (СОУ)

14. Сільськогосподарська техніка. Стояки пружні дискових робочих органів. Методи випробувань: СОУ 71.2-04604309-018:2015. Гапоненко О. І., Лисак Л. І. Дослідницьке: Український науково-дослідний інститут прогнозування і випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого, 2015. 17 с. *(Здобувачем встановлено методи випробування пружних стояків дискових робочих органів, які використовують для обробки ґрунту).*

Тези наукових доповідей:

15. Гапоненко А. И. Исследование упругих стоек дисковых борон // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: Международная научно-техническая конференция, г. Минск, Республика Беларусь, 10–11 октября 2012 года: тезисы доклада. Минск, 2012. С. 158–161.

16. Гапоненко А. И. Определение параметров упругих стоек дискаторов // Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса России: Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Пенза, 13–14 марта 2014 года: тезисы доклада. Пенза, 2014. С. 173–174.

17. Гапоненко О. І. Аналіз конструкції пружних стійок сферично-дискових робочих органів // Перспективна техніка і технології – 2012: VIII Міжнародна науково-практична конференція молодих учених, аспірантів і студентів, м. Миколаїв, 19–22 вересня 2012 року: тези доповіді. Миколаїв, 2012. С. 78–74.

18. Гапоненко О. І. Визначення параметрів пружинної стійки дискового робочого органу // Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві: XX Міжнародна науково-технічна конференція та VII Всеукраїнська конференція-семінар аспірантів, докторантів і здобувачів у галузі аграрної інженерії, смт Глеваха, 22–24 травня 2012 року: тези доповіді. Глеваха, 2012. С. 19–20.

АНОТАЦІЯ

Гапоненко О. І. Обґрунтування параметрів пружних стояків дискових ґрунтообробних агрегатів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва». Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, 2017.

У дисертації наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення науково-практичного завдання, що виявляється в математичному моделюванні процесу взаємодії пружного стояка сферичного диска з ґрунтовим середовищем, з врахуванням випадкового характеру реакції ґрунту у вигляді нелінійної динамічної моделі руху. Це дозволило визначити оптимальні динамічні характеристики та конструкційні параметри пружного стояка для

дискового робочого органу: жорсткість, зведену масу, частоту та амплітуду коливань.

Розроблено програму та методику експериментальних лабораторних і польових досліджень параметрів стояка та процесу взаємодії пружного стояка сферичного диска з ґрунтовим середовищем за використання баластного довантаження на робочому органі при зміні поступальної швидкості агрегата.

Оцінювання результатів вимірювань виконано на основі концепції невизначеності. З баластним довантаженням (оптимальною зведеною масою) вплив випадкових складових тягового опору на процес взаємодії сферичного диска на пружному стояку з ґрунтом, щонайменше в півтора рази менший.

За результатами експериментальних досліджень визначено залежності, які характеризують вплив швидкості агрегату та зведеної маси на робочому органі на тяговий опір (енергетичний показник) та пружні відхилення стояка (агротехнічний показник).

Виконано техніко-економічну оцінку ефективності роботи дискового ґрунтообробного агрегату за структурою експлуатаційних витрат та на основі практичного впровадження.

Ключові слова: дисковий робочий орган, пружний стояк, ґрунтове середовище, динамічні характеристики, зведена маса, відхилення.

АННОТАЦІЯ

Гапоненко А. И. Обоснование параметров упругих стоек для дисковых почвообрабатывающих агрегатов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.11 «Машины и средства механизации сельскохозяйственного производства». Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев, 2017.

Диссертация посвящена повышению эффективности дисковых почвообрабатывающих агрегатов при обосновании конструкционных параметров и динамических характеристик упругих стоек рабочих органов.

Оставленная на поле незерновая часть урожая становится определяющим фактором в исполнении технологических операций и формирует требования к исполнительным орудиям. Это обуславливает необходимость разработки дисковых почвообрабатывающих агрегатов с новыми технико-технологическими свойствами для качественного лущения стерни с большим количеством растительных остатков без забивания. Эксплуатационный опыт использования упругих стоек рабочих органов культиваторов и плугов открывает новые возможности для повышения эффективности дисковых почвообрабатывающих агрегатов.

В диссертации выполнено теоретическое обобщение и новое решение научной задачи – математического моделирования процесса взаимодействия упругой стойки сферического диска с почвенной средой при случайном воздействии реакции почвы в виде нелинейной динамической модели движения, исходя из которой определены динамические характеристики

упругой стойки для дискового рабочего органа, связывающие: жесткость, приведенную массу, частоту и амплитуду колебаний.

Получила дальнейшее развитие теория движения системы «почва – диск – упругий стояк» во время процесса обработки почвы с использованием теории эллиптических функций. Получено равенство, согласно которому возникают стохастические колебания стояка, а не гармоничные. Выбирая параметры, при которых амплитуда колебаний мала, а период большой, можно достичь оптимального распределения масс и выбора линейных размеров. Разработаны программа и методика экспериментальных лабораторных и полевых опытов исследования параметров упругой стойки и процесса ее взаимодействия с почвой с использованием балластной догрузки рабочего органа и смены скорости агрегата.

Оценка результатов измерений выполнена по концепции неопределённости, влияние случайных составляющих сопротивления почвы на процесс ее взаимодействия с упругой стойкой меньше в полтора раза при догрузке рабочего органа.

По результатам экспериментальных исследований определены зависимости, характеризующие влияние скорости агрегата и приведенной массы на энергетический показатель – тяговое сопротивление и агротехнический показатель – отклонения установленной глубины обработки.

Установлено, что применение упругих стоек с обоснованными конструктивными параметрами (жесткостью 20÷40 кН/м, приведенной массой 100÷300 Н) и динамическими характеристиками (частота 2–6 Гц, среднее отклонение колебаний 1,2–1,8 град) дает возможность уменьшить энергоемкость процесса обработки почвы дисковым рабочим органом на 5–7 %, не нарушая при этом агротехнический допуск равномерности хода по глубине рабочего органа.

Выполнена технико-экономическая оценка эффективности работы дискового почвообрабатывающего агрегата по структуре эксплуатационных расходов и на основании результатов практического внедрения.

Ключевые слова: дисковый рабочий орган, упругая стойка, почвенная среда, динамические характеристики, приведенная масса, отклонения.

ANNOTATION

Haponenko O. I. Justification of the parameters of the elastic leg for disk harrow. – The Manuscript.

Thesis on competition the scientific degree of candidate of technical sciences on specialty 05.05.11 Machines and Means of Mechanization of Agricultural Production. – National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, 2017.

The thesis shows theoretical generalization and new solution of scientific tasks found in the mathematical modeling of the interaction of elastic arm spherical disk with soil environment, taking into account the random nature of the reaction of the soil in the form of nonlinear dynamic model of movement. It is possible to determine

the optimum dynamic characteristics of elastic arm for disk working organ, stiffness, consolidated mass, the frequency and amplitude of oscillation.

The program and methods of experimental laboratory and field studies and process parameters elastic arm interaction of spherical disk with soil environment for the use of ballast paging on working body and changing forward speed unit.

Evaluation results of measurements performed on the basis of the concept of uncertainty. Ballast paging influence of random components on the interaction of spherical disk on the elastic arm with the ground at least a half times less.

The results of experimental studies determined depending characterizing the impact speed unit and consolidated mass on working body resistance to traction (energy index) and elastic deflection arm (agrotechnical figure).

Carried out technical and economic evaluation of the efficiency of the storage unit soil structure and operating costs through implementation.

Key words: working disk, elastic arm, soil environment, dynamic characteristic, reducing mass, deflection.

Підписано до друку 24.04.2017
Ум. друк. арк. 0,9
Наклад 100 прим.

Формат 60x84\16

Зам. № 77

Державна наукова установа
«Український науково-дослідний інститут прогнозування та випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого»,
08654, смт Дослідницьке, Васильківського району, Київської області