Методи досліджень і вимірювальні прилади

УДК 631. 316. 41

Гуменюк Ю., канд. техн. наук (Національний університет біоресурсів і природокористування України)

До методики визначення амплітудно-частотної характеристики розпушувальної лапи культиватора

У статті розглянуто існуючі прилади для вимірювання параметрів вібрації та, з урахуванням вимог обладнання, запропоновано методику визначення характеристик вібрації робочих органів ґрунтообробних машин, зокрема лап культиватора, яка ґрунтується на ефекті Холла.

Ключові слова: вимірювання, вібрація, лапа культиватора, датчик Холла.

Суть проблеми. Сучасний фахівець повинен мати чітке уявлення про методи вимірювання вібрації механізмів, сучасні методики та технічні засоби для його реалізації. Вимірювання показників вібрації потребує наявності специфічних приладів та обладнання. Це прилади зазвичай закордонного виробництва, які дорого коштують, що в умовах скорочення фінансування сільськогосподарських наукових тематик є основною причиною розроблення нових методик вимірювання необхідних параметрів.

Аналіз публікацій на тему дослідження. Показники вібрації вимірюють специфічними приладами й обладнанням, до яких, залежно від виду параметра вібрації та умов проведення вимірювань, висуваються певні вимоги. Серед таких вимог – простота і зручність обслуговування, малі габарити і вага приладу, можливість дистанційного керування, міцність елементів, стійкість до змін температури і тиску навколишнього середовища, стійкість від корозії, захист від сторонніх електричних і магнітних наводок. Враховуючи вимоги до обладнання, запропоновано

© Гуменюк Ю., 2014

методику визначення характеристик вібрації робочих органів ґрунтообробних машин, зокрема лап культиватора, яка ґрунтується на ефекті Холла.

Мета дослідження – розробити методику визначення амплітудно-частотної характеристики розпушувальної лапи культиватора.

Виклад основного матеріалу. Прилади для вимірювання параметрів вібрації поділяються на механічні, оптичні, пальники з манометричним полум'ям, індукційні (магнітоелектричні), п'єзоелектричні, омічні, ємкісні, фотоелектричні, електронні, електрокінетичні, акустичні, магнітопружні, локатори, прилади, в основу яких покладено використання радіоактивності, електроконтактні прилади з розривом або замиканням електричного кола [1, 2, 4]. Проте лише незначна частина з них є доступними.

Оптичні прилади використовують в основному для спостереження та вимірювання вібрацій відносно нерухомої точки. Фотографічний метод є одним з оптичних методів реєстрації коливань об'єкта, який ґрунтується на тому, що для запису коливань використовуються світлочутливі матеріали (плівки, пластинки, фотопапір), тобто на безпосередньому фотографуванні коливань об'єкта. При цьому на об'єкт необхідно нанести мітки, пофарбувати його або відполірувати. Цей метод, за достатньо великої кількості знімків, дозволяє вивчати всі послідовні фази процесу, включаючи крайні положення робочого органа, і виконавши виміри зображень на фотознімках, чисельно визначити характеристику процесу.

Швидкісна кінозйомка також відноситься до оптичного методу реєстрації коливань. Вона дає можливість відстежувати усі подробиці процесу коливань досліджуваного об'єкта, при цьому час контролюється за кількістю відзнятих кадрів. До недоліків оптичного методу відноситься необхідність врахування чутливості фотоматеріалів, контрастності, фокусної відстані і глибини різкості об'єктива. Необхідно також підбирати фон, освітлення. До того ж під час фотографування рухомого об'єкта необхідно враховувати місце встановлення апаратури, спосіб закріплення, та виключити можливість її вібрації, що не завжди вдається.

До механічних приладів реєстрації коливань відносять ручні і стаціонарні щупи. Це прилади прямого вимірювання вібрацій відносно нерухомої точки. Щуп приєднують до корпуса масивного нерухомого предмета поблизу досліджуваного об'єкта. Під час роботи приладу штифт щупа притискається пружиною до досліджуваного об'єкта і записує його вібрацію на рухому стрічку.

В основу резонансного частотоміра покладено принцип, який полягає в тому, що за наявності резонансу будь-якої гармонічної складової вібрації з частотою власних коливань інерційного приладу амплітуда коливань його маси значно збільшується, особливо коли сили опору системи невеликі. Частотоміри, побудовані за цим принципом, складаються з набору пружних пластинок, які закріплені одним кінцем до основи, а на іншому мають тягарець. Торцеві частини пластинок пофарбовані в білий колір і розміщені вздовж шкали, на якій навпроти кожної пластинки нанесено цифри. В процесі роботи пластинки частотоміра, приєднаного до об'єкта дослідження, починають коливатись. Найбільш сильні вимушені коливання спостерігаються у тих пластинок, власні частоти яких найближчі до частот гармонічних складових спектра вібрації. Однак амплітуда вимушених коливань визначається виключно силами опору системи, які в свою чергу можуть змінюватись під впливом зміни температури, спрацювання рухомих деталей приладу, їх забруднення. Таким чином, при зміні амплітуд резонансні прилади можуть виявляти нестабільність у разі використання їх протягом тривалого часу.

Метод «прямого» запису коливань – мало використовуваний. Механічні коливання об'єкта сприймаються вібродатчиком, перетворюються в електричні і фіксуються реєструвальною апаратурою. До переваг цього методу належать: дистанційність дії (вібродатчик знаходиться на відстані від реєструвальної апаратури і з'єднаний з нею проводом), якість запису, підсилення і перетворення сигналу електричними методами, можливість одночасного запису кількох характеристик процесу вібрації, компактність і невелика вага вібродатчиків у порівнянні з приладами, обладнаними механічними самописцями. Це дає можливість встановлювати вібродатчики на невеликих і важкодоступних деталях машини.

Індукційними або магнітоелектричними називаються такі системи, в яких для перетворення механічних коливань в електричні використовується явище електромагнітної індукції. Основою конструкції таких приладів є котушка та постійний магніт. Для того, щоб визначити індукційним приладом, наприклад, зміщення робочого органа, необхідно провести чисельно-графічний перерахунок віброграми або після датчика необхідно включити спеціальні електричні контури, які виконують операції інтегрування або диференціювання автоматично.

Таким чином, на віброграмі безпосередньо записуватимуться зміщення робочого органа. Для запису можна також проінтегрувати вихідну напругу з індукційного віброметра. Індукційні системи відносяться до найбільш використовуваних, що мотивується простотою їх конструкції і надійністю дії, значною чуттєвістю приладів (особливо у разі застосування висококоерцитивних магнітних сплавів та тонкого обмотувального проводу котушки).

Основний недолік індукційних систем полягає в обмеженості діапазону частот, що вимірюються в бік зменшення.

Використання електромагнітних (індукційних) систем ґрунтується на явищі перерозподілу магнітного потоку кола внаслідок зміни положення феромагнітного тіла. В електромагнітних системах параметричного типу коливання залізного якоря, який є інерційним елементом вібродатчика, змінюють величину повітряного зазора котушки з залізним осердям, тим самим змінюючи її індуктивність L згідно з виразом [1, 2, 4]:

$$L = \frac{1,25\omega^2}{\frac{l_{ж}}{\mu a_{ж}} + \frac{l_{в}}{a_{в}}} \text{ (Генрі)}, \qquad (1)$$

де ω – кількість витків котушки; $l_ж$ – довжина ділянки магнітного кола залізного осердя, м; $l_в$ – повітряний зазор між котушкою і залізним осердям, м;

$a_ж$, $a_в$ – площа поперечного перерізу осердя та повітряного зазора, м²; μ – магнітна проникність осердя.

Якщо величина $l_ж/(\mu a_ж)$ є малою, а $l_в/a_в$ – великою, то з достатньою мірою наближення можна вважати, що індуктивність визначається величиною повітряного зазора і формула (1) має вигляд:

$$L \approx 1.25\omega^2 \frac{a_в}{l_в} 10^{-8} \text{ (Генрі).} \qquad (2)$$

Таким чином, індуктивність *L* є величиною, обернено пропорційною величині повітряного зазора. Під час вібрації одночасно зі зміною повітряного зазору і викликаною цим зміною індуктивності в електричному колі відбуваються зміни струму, які сприймаються підключеною до кола реєструвальною апаратурою.

До переваг вищеописаного електромагнітного вібродатчика можна віднести те, що сигнал, який створює магнітна система, є настільки значним, що для його запису не потрібно попереднього підсилення; електромагнітні віброметри дозволяють здійснювати запис зміщення робочого органа без застосування інтегрувальних контурів.

До недоліків електромагнітних вібродатчиків відносяться: необхідність екранування проводів у зв'язку з можливістю електричних наводок; нестабільність нуля, яка обумовлена розбалансуванням плечей і необхідністю частого їх налагодження тощо.

П'єзоелектричні системи базуються на фізичному явищі виникнення електричних зарядів на гранях деяких кристалічних тіл під час дії на них стискувальних або розтягувальних механічних сил. У порівнянні з іншими типами вібродатчиків, п'єзодатчики мають найбільш широкий діапазон вимірювань, які можна охопити одним датчиком – як за частотою, так і за інтенсивністю (діапазон вимірювання частот коливань лежить в межах від 10 до 50000 Гц).

Основними перевагами п'єзодатчиків є: малі габаритні розміри і вага; дешевизна і простота виготовлення; стійкість до змін вологості і температури навколишнього середовища (крім сегнетової солі); мале затухання в кристалах.

До недоліків відносяться: неможливість проводити вимірювання вібрації, починаючи з 0 Гц; відносно слабкий рівень електричного сигналу, який знімається з п'єзоелемента, що особливо характерно при вимірюванні вібраційних зміщень, бо в такому разі потрібне двократне інтегрування, пов'язане з додатковим послабленням сигналу.

Принцип дії омічної системи полягає в тому, що включений в електричне коло омічний опір змінює свою величину згідно з механічними коливаннями об'єкта, пов'язаного з ним. При цьому струм у колі буде змінюватись, а включена в коло реєструвальна апаратура почне записувати електричні коливання, які за умови правильного вибору параметрів схеми будуть відповідати механічним коливанням об'єкта досліджень.

Способами зміни опору під дією механічних коливань є зміна активної довжини провідника за допомогою ковзаючого контакту (реостата, потенціометра, реохорди з повзунками); зміна опору неметалевих провідників при зміні тиску (вугільні елементи); зміна опору провідників при деформації за допомогою тензодатчиків.

Реостатні системи прості і надійні в експлуатації, добре підходять для вимірювання низьких частот і великих віброзміщень. Датчики такого типу дозволяють отримати вихідний сигнал будь-якої сили без попереднього підсилення. Однак зміщення, менше діаметра провідника, або не сприймається взагалі, або сприймається як результат підключення опору цілого витка. Тому діаметр провідника визначає поріг чутливості пристрою. Суттєвим недоліком реостатної системи є зниження дозволяючої здатності щодо чутливості внаслідок забруднення місця контакту, корозії, зношення витків.

Для вимірювання вібрацій використовують тензодатчики, принцип дії яких ґрунтується на зміні їх опору *R* при деформації, яка викликає зміну довжини і поперечного перерізу дроту, а також впливає на величину питомого опору ρ.

Ці величини пов'язані між собою залежністю:

$$R = \rho\,(l/q), \qquad (3)$$

де *l* – довжина дроту, м; *q* – площа поперечного перерізу дроту, м²; ρ – питомий опір.

Застосування тензодатчиків дозволяє вимірювати параметри вібрації безпосередньо через деформацію досліджуваного об'єкта або з використанням інерційних приладів, у яких тензоелементи вимірюють деформацію пружного підвісу. В останньому випадку деформації не повинні бути дуже великими.

Віброакселератори з тензоелементами мають малі габарити, відрізняються простотою конструкції, однак є дуже чутливими до перепадів температури навколишнього середовища та мають недоліки, пов'язані з живленням моста тензоелементів змінним струмом (екранування проводів, нестабільність нуля тощо).

Використання електронних систем вимірювання показників вібрації ґрунтується на відхиленні або зміні інтенсивності потоку електронів під дією зовнішніх сил, які необхідно виміряти.

Електронно-механічна система з зовнішнім керуванням магнітним або електростатичним полями являє собою електропроменеву трубку з розміщеними в ній катодом і анодом. В залежності від положення постійного магніту, який знаходиться поза межами трубки і служить інерційним елементом вібродатчика, потік електронів перерозподіляється між катодом і анодом, які ввімкнені в мостову схему.

Основними перевагами електронно-механічної системи є: достатньо сильний вихідний сигнал, можливість вимірювання низьких частот коливань, стійкість датчиків до змін температури і вологості навколишнього середовища. Недоліками є низька віброміцність датчиків, необхідність підведення до датчика високої анодної напруги, нестабільність нуля, необхідність попереднього прогріву датчика протягом 10-15 хв (для створення стійкого режиму роботи).

На основі проведеного аналізу методик вимірювання параметрів вібрації розроблено методику вимірювання амплітуди коливань лапи, що ґрунтується на застосуванні магніточутливого датчика Холла, у якого вихідна напруга залежить від напруги живлення, а також сили магнітного поля та його орієнтації.

Датчик Холла (рис. 1) має розміри 2х2х0,5 мм, вихідну напругу 0,01 В (без підсилювача та без стороннього поля), живлення – 4,5 В, сила магніту – 1 гс,

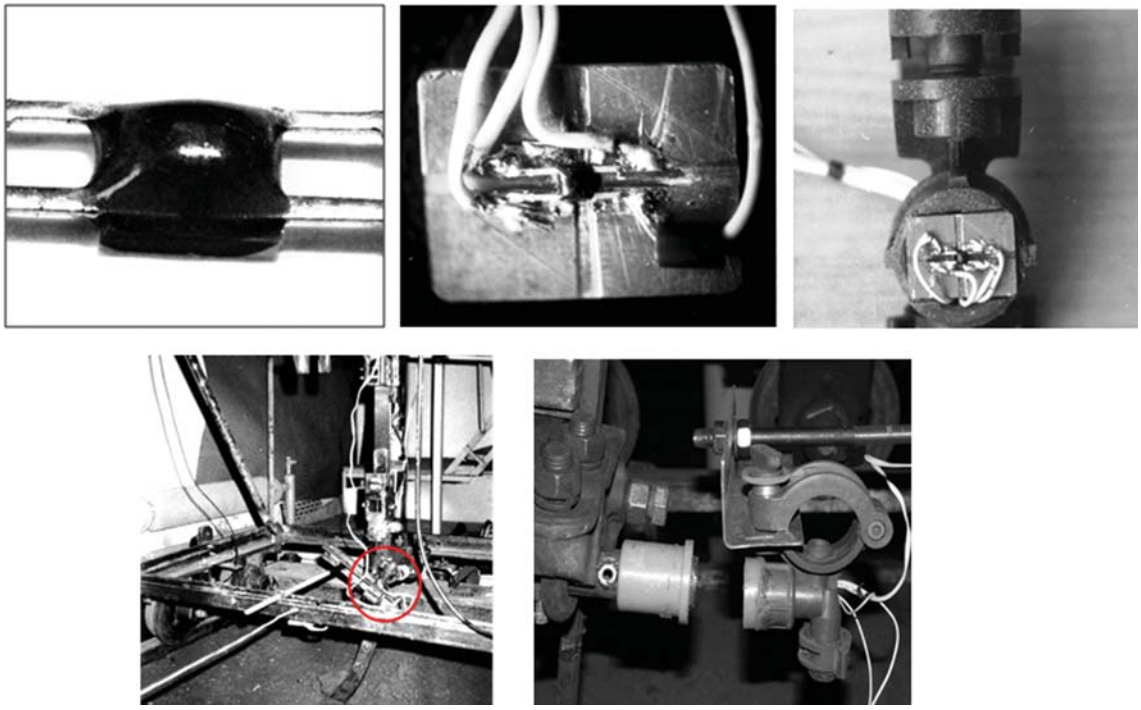

Рис. 1 – **Загальний вигляд датчика Холла**

вихідна напруга становить ≈600 мВ. Датчик Холла за допомогою кронштейна кріпиться до рами візка, постійний магніт з тримачем кріпиться безпосередньо на розпушувальну лапу опозитно датчику.

Рухаючись у ґрунті, розпушувальна лапа починає коливатись, передаючи коливання тримачу з магнітом, внаслідок чого відстань «магніт – датчик» постійно змінюється, що спричинює зростання магнітного поля і зміну вихідної напруги датчика.

Принципову схему статично-динамічного датчика Холла та характерну осцилограму наведено на рис. 2.

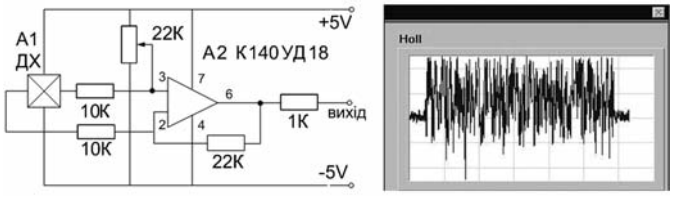

Рис. 2 – **Принципова схема статично-динамічного датчика Холла та типова осцилограма коливань лапи з пружною підвіскою**

Діаметр магнітної системи – 10-12 мм, діаметр магніта – 8-10 мм, його товщина – 3-5 мм. Хід магніта – в межах 8 мм, при цьому амплітуда вихідної напруги може досягати 500-600 мВ. Середня напруга – в межах від 100 до 600 мВ, що залежить від початкової відстані між магнітом і датчиком. Нормалізація вихідного сигналу до рівня 2 В забезпечується підсилювачем, схему якого наведено на рис. 2. Максимальна частота переміщення магніту становить 100 кГц.

Висновки.

1. Прилади та обладнання для вимірювання показників вібрації повинні задовольняти такі вимоги: простота і зручність обслуговування, малі габарити і вага приладу, можливість дистанційного керування, міцність елементів, стійкість до змін температури і тиску навколишнього середовища, стійкість від корозії, захист до сторонніх електричних і магнітних наводок.

2. Прилади для вимірювання параметрів вібрації поділяються на механічні, оптичні, індукційні (електромагнітні), п'єзоелектричні, омічні, ємкісні, фотоелектричні, електронні, електрокінетичні, акустичні, магнітопружні, локатори, прилади, з використанням радіоактивності та ін. Однак лише незначна частина з них є доступними.

3. Запропонована методика і обладнання для вимірювання амплітудно-частотної характеристики розпушувальної лапи культиватора ґрунтується на застосуванні магніточутливого датчика Холла, що дозволяє вимірювати параметри вібрації в широкому діапазоні.

Список літератури

1. Иориш Ю.И. Измерение вибрации [Текст] / Ю.И. Иориш. – М.: Машгиз, 1956. – 403 с.

2. Иориш Ю.И. Виброметрия / Ю.И. Иориш. М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1963. – 756 с.

3. Прочность, устойчивость, колебания: Справочник / [Под ред. Биргера И.А., Пановко Я.Г.]. – М.: Машиностроение, 1968. – Т. 3. – 567 с.

4. Ушаков А.А. Виброизмерительная аппаратура. / А.А. Ушаков. – Изд. ВВА им. Н. Е. Жуковского, 1948. – 288 с.

Аннотация. *В статье рассмотрены существующие приборы для измерения параметров вибрации и, с учетом требований к оборудованию, предложена методика определения характеристик вибрации рабочих органов почвообрабатывающих машин, в частности лап культиватора, которая основана на эффекте Холла.*

Summary. *The article considers the existing instruments for measuring vibration parameters and, considering requirements for the measurement of vibrations, proposes the method of determining the vibration characteristics of tillage tools, including the cultivator share, which is based on the Hall effect.*

Стаття надійшла до редакції 7 травня 2014 р.