УДК 631.15:519

ВИРАЖЕННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ПРОЦЕСУ ВИМІРЮВАНЬ ТЯГОВОГО ОПОРУ ПРУЖНОГО СТОЯКА ДИСКОВОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ

О. Гапоненко,
УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого

Випадкові зміни величини тягового опору призводять до невідомого постійного відхилення, яке не можна експериментально визначити шляхом повторення вимірювань. Обґрунтовано аналізування результатів спостережень з використанням статистичних методів, які спеціально призначені для обробляння серії корельованих вимірювань. Прийнято концепцію оцінювання невизначеності з урахуванням припущення про нормальний закон розподілу результатів вимірювання. Опрацюванням результатів попередньо проведених досліджень виявлено зменшення невизначеності виміряних величин, що є свідченням вагомості впливу визначених факторів на перебіг процесу взаємодії робочого органу на пружному стояку з ґрунтом.

Ключові слова: *тяговий опір; невизначеність; імовірність; достовірність.*

Суть проблеми. Система розподілу рослинних решток на поверхні поля чинить вагомий вплив на урожайність сільськогосподарських культур в сучасних системах поверхневого обробітку ґрунту. Агротехнічна ефективність роботи на полі із значною кількістю рослинних решток оцінюється за показником адаптованості дискових ґрунтообробних знарядь до вимог конкретних технологічних операцій. Об’єктом оцінювання є як знаряддя в цілому, так і системи кріплення робочих органів.

Для забезпечення оптимального функціонування дискових борін в умовах випадкових навантажень та збурень застосовують різноманітні конструкції підвіски робочих органів до рами. Непередбачуваність виникнення додаткових навантажень за величиною та напрямком зумовлює захисне призначення підвіски робочого органу. Нині суттєвий розвиток в конструкції дискових борін отримали пружні стояки для робочих органів, особливості функціонування яких потребують дослідження.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Якісна підготовка ґрунту до сівби сільгоспкультур полягає у рівномірному розподілі та подрібненні рослинних решток, у забезпеченні високого ступеня мульчування, низької гребенистості поверхні ґрунту та вирівняності дна борозни за високої продуктивності агрегату та незначних витрат енергії [1]. Експериментальні

методи досліджень випробовуваних зразків у реальних умовах експлуатації мають велике значення для визначення реальних навантажень деталей машин на стадії проектування [2]. Результати експериментальних досліджень навантажень (тягового опору) пружного стояка показують, що спектр силового впливу під час виконання технологічного процесу включає навантаження різної частоти й амплітуди [3, 4, 5]. Дослідження процесу за його статистичними характеристиками викликає складності перевірки адекватності математичних моделей та необхідність пошуку до оцінювання результатів вимірювань.

Мета дослідження: обґрунтувати концепції оцінювання і систематизації отриманого цифрового фактажу тягового опору пружного стояка дискового робочого органу.

Викладення основного матеріалу. Обґрунтування конструкційних та динамічних параметрів пружного стояка базується на встановлення впливових факторів на особливості його руху під час роботи. Рух робочого органу на пружному стояку розглядався в системі відліку, що жорстко пов'язана з рамою агрегату і переміщується поступально разом з ним та являє собою просторове коливання навколо положення динамічної рівноваги. Виконано математичні розрахунки відхилень пружного стояка під час імітування технологічного процесу, виокремлено найбільш суттєві фактори впливу: момент сил від опору ґрунту; момент сил пружності та ваги стояка. Стійкість коливань пружного стояка, в загальному випадку, визначається нелінійними диференціальними рівняннями з припущенням про їх нестаціонарність та з урахуванням того, що вони відбуваються за обмежений проміжок часу під дією безперервних сил збурювання. За результатами проведеної експериментальної перевірки отримано підтвердження припущення, що тяговий опір залежить від багатьох факторів, які в кожен момент часу оцінити неможливо.

Визначена вхідна величина тягового опору розрахована з конкретного розкладання в степеневий ряд, де члени вищого порядку відомі не точно. Систематичний ефект, обумовлений неможливістю точно оцінити члени, веде до невідомого постійного відхилення, яке не можна експериментально визначити шляхом повторення вимірювань. Таким чином, невизначеність, пов'язану з цим ефектом, не можна оцінити і включити в невизначеність кінцевого результату вимірювання, якщо дотримуватися частотної інтерпретації імовірності. Однак тлумачення імовірності на основі ступеня достовірності дозволяє оцінити невизначеність, що характеризує ефект із апріорного розподілу ймовірностей (отриманого з наявного знання про неточно відомі члени) і включити її в розрахунок сумарної стандартної невизначеності результату вимірювання [6].

Випадкові зміни в спостереженнях вхідної величини корельовано за часом. Отже, середнє значення і експериментальне стандартне відхилення середнього можуть не відповідати бажаним оцінкам. Тому, результати

спостережень аналізували, використовуючи статистичні методи, які спеціально призначені для обробляння серії корельованих вимірювань, що випадково змінюються.

Проведено багато вимірювань, розподіляються вони за нормальним законом, середньоквадратичне відхилення виражає невизначеність спостережень. Стандартній невизначеності відповідає довірча імовірність 0,68. Подвоєній стандартній невизначеності в межах від μ-2σ до μ+2σ відповідає довірча імовірність 0,95.

Одним з вхідних параметрів, що впливає на результат вимірювання, є температура навколишнього середовища, від якої змінюється опір тензорезисторів. Зміна температури створює систематичний ефект, що було враховано поправкою до використовуваних приладів.

За невизначеністю квантування безперервної величини при аналого-цифровому перетворенні в процесі квантування виконується вимірювальне перетворення величини X, яка безперервно змінюється у величину $X_N = N \cdot q$, що змінюється ступінчасто із заданими розмірами ступенів q. При цьому безмежній кількості значень величини X ставиться у відповідність кінцева кількість значень вихідних кодів цифрового пристрою N.

Квантуванню, як вимірювальному перетворенню, властива похибка, що виникає при відображенні безперервної за розміром величини X, обмеженої за числом розрядів N. Залежність похибки квантування від вимірюваної величини X лінійна в межах кроку квантування q.

Оскільки X може приймати будь-яке рівномірне значення в межах кроку квантування, заданого рівнями квантування X_N і X_{N+1}, то стандартна невизначеність квантування, розрахована за типом В, визначатиметься як стандартне відхилення рівномірного закону розподілу з вказаними межами і складатиме значення:

$$u_B(x) = \frac{q}{\sqrt{12}}.$$

Сумарну стандартну невизначеність визначали за формулою:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} \left(\frac{df}{dx_i} \right)^2 u^2(x_i)}.$$

Виконано оцінювання складових сумарної стандартної невизначеності, як не виключених залишків систематичної похибки вимірювань (виконаних за типом В).

Сумарна стандартна невизначеність вимірювань дорівнює:

$$u_C(y) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_K^2(\Delta) + u_3^2},$$

де u_1 – основна невизначеність вимірювань; u_2 – додаткова температурна невизначеність; u_3 – поправка обумовлена невизначеністю вхідного опору під час вимірювання напруги і невизначеністю опору датчиків; u_K – невизначеність квантування.

В дослідженнях використовували непрямі вимірювання, значення напруги від аналого-цифрового перетворювача перераховували в значення сили зовнішньої дії, відхилення та узагальнюючої координати, тому у вимірюваннях присутня невизначеність моделювання $u_м$. Стандартну невизначеність тарувальних залежностей розраховано як стандартне відхилення. Розширена невизначеність моделювання $U_м$, з врахуванням припущення про нормальний закон розподілу результатів вимірювання, з довірчим рівнем p=0,95:

$$V=2,5\pm0,04\ mV/V,\ p=0,95$$

Розширені невизначеності для вимірюваних величин, отриманих в результаті досліджень, наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – **Розширені невизначеності *U* вимірюваних величин**

Вимірювана величина	Без довантаження на робочому органі	З довантаженням на робочому органі
Тяговий опір	5,54	3,45
Середньоквадратичне значення тягового опору	4,6	2,141
Відхилення стояка	2,73	1,8185
Середньоквадратичне значення відхилення	2,13	1,0324
Узагальнююча координата	0,2378	0,1744
Середньоквадратичне значення узагальнюючої координати	0,1576	0,0692

Порівнюючи невизначеності вимірювань, можна зробити висновок, що з довантаженням вплив випадкових складових на процес взаємодії сферичного диска на пружному стояку з ґрунтом, щонайменше в півтора рази, менший. Тобто, збільшення віброактивності робочого органу, отримане в результатах досліджень, відбувається саме за рахунок коливань пружного стояка.

Висновки. Вхідна величина тягового опору, розрахована з конкретного розкладання в степеневий ряд, містить систематичний ефект, що веде до невідомого постійного відхилення, яке не можна експериментально визначити шляхом повторення вимірювань. Тлумачення імовірності на основі ступеня впевненості дозволяє оцінити невизначеність кінцевого результату вимірювання.

Оцінювання результатів раніше проведених експериментальних досліджень [5] свідчить про більшу керованість процесу взаємодії пружного стояка сферичного диска та підвищення ефективності роботи знаряддя в цілому.

Література
1. Кушнарьов А. Дискатор – нове технічне рішення / А. Кушнарьов, С. Кушнарьов, О. Вершков, Є. Бобровний // Пропозиція. – 2011. — № 10. – С.106 – 109.
2. Гапоненко О. І. Методика встановлення залежності динамічних навантажень від характеристик пружних стійок робочих органів / О. І. Гапоненко // Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва: зб. наук. пр. Харківського НТУСГ ім. П. Василенка. — 2013. — Вип. 139. — С.327 – 331.
3. Гапоненко О. І. Експериментальні дослідження роботи сферичного диска на пружному кріпленні / О. І. Гапоненко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвідомч. наук.-техн. зб. — Кіровоград: КНТУ, 2013. — Вип. 43, ч. ІІ. — С. 61– 66.
4. Кушнарев А.С. Использование априорной информации для построения полиномиальных моделей взаимодействия сферических дисков дискаторов с почвой / А.С. Кушнарев, В.И. Кравчук, С.А. Кушнарев // Техніка і технології АПК. — 2009. — №2 (жовтень 2009). – С. 20 – 25.
5. Гапоненко О. І. Експериментальні дослідження дискатора з пружними стояками / О. І. Гапоненко // Механізація та електрифікація сільського господарства: міжвідомчий тематичний науковий збірник ННЦ «ІМЕСГ». — 2014. — Вип. 99, т. 1 — С. 263 – 271. ISNN 0202-1927.
6. Поджаренко В. О., Василевский О. М., Кучеренко В. Ю. Опрацювання результатів вимірювань на основі концепції невизначеності. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 128 с.

Аннотация

Случайные изменения величины тягового сопротивления приводят к появлению неизвестного постоянного отклонения, экспериментально не определяемого путём повторения измерений. Обоснован анализ результатов наблюдений с использованием статистических методов, специально предназначенных для обработки коррелированных измерений. Принята концепция неопределенности с допущением о нормальном законе распределения результатов измерений. Проработанные результаты приведённых исследований показали уменьшение неопределенности измеренных величин, что свидетельствует о влиятельности определённых факторов на процесс взаимодействия рабочего органа на упругой стойке с почвой.

Summary

Random changes of the traction resistance lead to the appearance of unknown permanent deviation experimentally undetectable by repeating measurements. Analysis of the observations results, using statistical methods specifically designed for correlated measurements processing are justified. The concept of uncertainty with the assumption of the normal distribution of measurement results is accepted. Refined results of the research have shown a decrease in the uncertainty of measured values, which indicates the influence of certain factors on the process of the working body on elastic rack interaction with soil.