ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.873 +62-932.4

Дзержинська О.В.
Донбаська державна машинобудівна академія

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ ОПОРНОЇ ПОВЕРХНІ КРОКУЮЧОГО РУШІЯ З ҐРУНТОМ

У статті наводиться опис методики проведення експериментальних досліджень процесу взаємодії опорної поверхні лиж крокуючого рушія з ґрунтом під час застосування різних опорних елементів. Проведена серія експериментів з установкою різних за формою і висотою опорних елементів. Можна зробити висновок, що застосування опорних елементів «шевронною» форми найбільш ефективні для роботи на крокуючих рушіях.

Ключові слова: *методика експерименту, опорна поверхня, опорні елементи.*

Постановка проблеми. Експериментальні дослідження роботи механізму пересування крокуючих кранів представляє досить важливу задачу. Дані експериментальних досліджень вкрай необхідні для встановлення дійсних параметрів, що характеризують роботу механізму крокування в різних умовах, і з'ясування причин незадовільного крокування кранів на пісках і розпушених ґрунтах.

Саме для цього потрібне проведення натурних експериментів на стенді з моделлю лижі крокуючого рушія [1–3].

Мета експериментальних досліджень. Метою роботи є оцінка ефективності запропонованої конструкції опорних елементів лиж крокуючого рушія.

Постановка завдання. Завданням експериментального дослідження є проведення порівняльного аналізу прохідності крокуючого рушія з різними опорними елементами лиж, у різних ґрунтових умовах за параметрами існуючих конструкцій і запропонованої конструкції опорних елементів лиж крокуючого рушія.

Виклад основного матеріалу. Дослідження процесу взаємодії опорної поверхні лиж крокую-

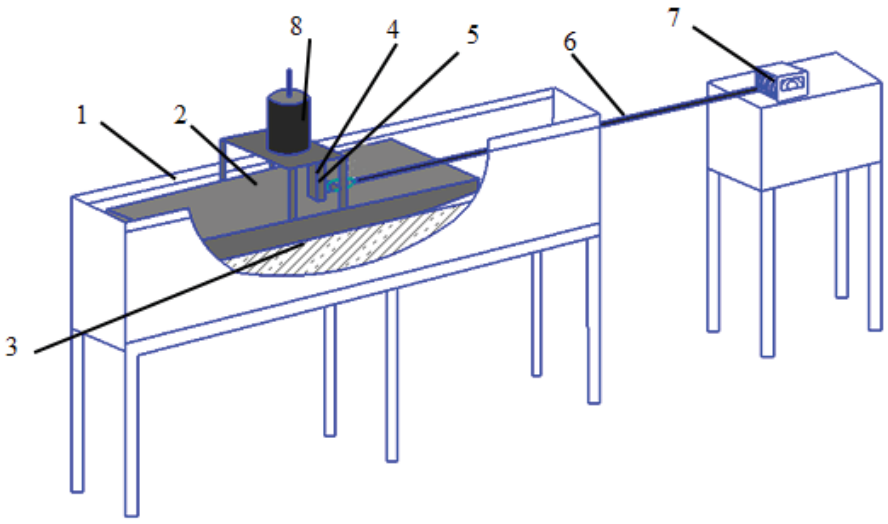

Рис. 1. Принципова схема експериментального стенду для дослідження процесу взаємодії опорної поверхні лижі крокуючого рушія з ґрунтом

чого крана з ґрунтом проводилися шляхом занурення лижі в ґрунтовий канал і її зсуву. Даний метод володіє економічною ефективністю в порівнянні з проведенням експерименту на готовому виробі.

Конструкція фізичної моделі лижі з опорними елементами дозволяє проводити експериментальні дослідження в умовах, що моделюють процес переміщення крокуючого рушія по різноманітному ґрунту кар'єра.

Для проведення дослідження був виготовлений лабораторний стенд (рис. 1), що складається з ґрунтового каналу 1, на ґрунт встановлюється лижа 2, до неї кріпляться опорні елементи 3.

До лижі за допомогою болтових з'єднань 4 кріпиться датчик вимірювання сили 5. За допомогою канату 6 до лижі через лебідку 7 передається зусилля, яка створює імітацію навантаження від механізму крокування через сферу ноги на лижу. Під час обертання барабана канат лебідки передає зусилля, яке наростаючі достягає перевищення сили зчеплення, що приводить в рух лижу. Зчитуються показання з датчика 5, який за допомогою аналого-цифрового перетворювача виводить результат на екран ноутбука. Таким чином, відбувається вимірювання сили, яка дорівнює силі тертя. Нормальна сила створюється за допомогою вантажів 8.

Лижа крокуючого екскаватору виконана в масштабі 1:10 із металу. Конструкція лижи була виконана таким чином, що на ній можна встановлювати під час проведення експерименту опорні елементи різної форми та різної висоти (рис. 2), а також змінювати напрямок розташування опорних елементів.

Ґрунтовий канал виготовлений у вигляді дерев'яного короба завдовжки 3 м та шириною 0,3 м.

Експериментальні дослідження проводились з використанням в ґрунтовому каналі різних типів ґрунту: суглинок; пісок та скальна поверхня (бетон).

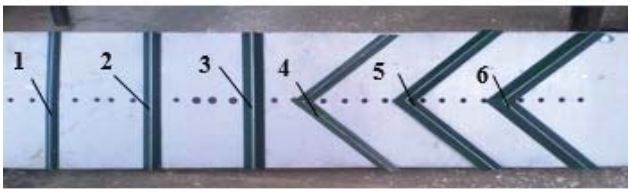

Рис. 2. Опорні елементи лижі
1 – ровний опорний елемент висотою h=8 мм, 2 – ровний опорний елемент висотою h=12 мм, 3 – ровний опорний елемент висотою h=16 мм, 4 – опорний елемент «шевронної» форми висотою h=8 мм, 5 – опорний елемент «шевронної» форми висотою h=12 мм, 6 – опорний елемент «шевронної» форми висотою 16=8 мм

Навантаження лижі здійснювалось за допомогою вантажу розташованого у місці з'єднання лижі з ногою крокуючого рушія.

Запропонована конструкція опорних елементів лижі крокуючого рушія дозволить підвищити ефективності роботи механізму крокування шляхом збільшення лінії контакту опорних елементів лижи крокуючого екскаватора з ґрунтом, за рахунок збільшення площі деформації ґрунту опорних елементів лижи и сили опору ґрунту.

Для проведення експериментального дослідження в ґрунтовий канал засипався необхідний для проведення дослідження ґрунт. Для отримання достовірних даних перед кожним дослідом здійснювалося розпушування ґрунту та вирівнювання по довжині і ширині.

На підготовлену поверхню встановлювалася лижа. За допомогою вантажу здійснювалось навантаження лижі.

За допомогою талі створювалося необхідне тягове зусилля, щоб переміщати лижу по ґрунту.

Для вимірювання тягового зусилля був встановлений датчик зусилля в місці з'єднання лижі з ногою крокуючого рушія (рис. 3).

Під час руху лижі здійснюється реєстрація значення тягового зусилля.

Для виміру зусилля використовуємо електронну вимірювальну інформаційну систему, за допомогою якої перетворюємо електричний сигнал у графічне зображення (осцилограму). Схематичне зображення вимірювально-інформаційної системи зображена на рисунку 4.

Реєстрація зусилля здійснювалась за допомогою тензодатчика, підключеного за мостовою схемою до АЦП HX711, який служить для посилення сигналу датчика.

Рис. 3. Тензодатчик зусилля

Найбільша похибка запису сигналу становить менш як 0,9% при пульсації сигналу 40 мВ. Аналогова напруга перетворюється аналого-цифровим перетворювачем у цифровий сигнал, який обробляється мікроконтролером ATmega328. Платформа має 14 цифрових виходів, 6 аналогових входів, кварцовий генератор 16 МГц. Для відтворення даних у програмному середовищі мікропроцесор через роз'єм USB за допомогою кабелю USB підключається до ноутбуку.

У результаті проведених експериментів з опорними елементами лижі отримуються графіки, що оброблюються в комп'ютерній програмі «Serial Port Plotter». У програмі одержуються значення зусиль у тяговому канаті.

Для точності вимірювань проводиться тарування. Тарування дозволяє встановити чутливість тензодатчика до вимірюваної величині, перевірити роботу системи у всьому діапазоні зміни вхідної величини. Тарування проводилася на початку експерименту. Для проведення тарування була створена програма (рис. 5), яка автоматично обчислює тарувальний коефіцієнт із відомої нам сили.

Для отримання достовірних результатів експериментальних досліджень

необхідно знати ту кількість вимірювань, при якому можна бути впевненим у позитивному результаті. У зв'язку із цим одним із завдань є встановлення мінімального, але достатнього числа вимірів для даних умов.

Користуючись методикою В.І. Романовського, необхідна кількість дослідів визначається за такою формулою [4]:

$$n=\left(\frac{t_\alpha \sigma}{\varepsilon}\right)^2, \qquad (1)$$

де t_α – значення критерію Стьюдента; ε – точність вимірювань; σ – середньоквадратичне відхилення вимірюваної величини.

Під час дослідження опорної поверхні лиж крокуючого механізму необхідне число вимірювань з урахуванням прийнятого значення критерію Стьюдента t_α=0, 131 дорівнює 8 вимірюванням.

Рис. 5. Код програми для тарування тензодатчика

Під час опису залежності в роботі використовувався повний факторний експерименту. У зв'язку із цим коефіцієнт зчеплення опорної поверхні лиж з ґрунтом можна уявити як функцію від цих параметрів:

$$F = (P_л, E_{зс}, h_{ое}), \qquad (2)$$

де $P_л$ – тиск лижі на ґрунт, $T_{зс}$ – сила зсуву лижи по ґрунту, $h_{ое}$ – висота опорного елемента лижі крокуючого рушія на ґрунт.

Рис. 4. Інформаційно-вимірювальна схема

Таблиця 1

Рівні та інтервали варіювання факторів для ґрунту «супісь»

Рівень фактору	Тиск лижі на ґрунт, $P_л$, к Па	Сила зсуву лижи по ґрунту, $T_{зс}$, кН	Висота опорного елементу $h_{ое}$, м
Основний	ф	0,82	0,12
Нижній	0,3	0,6	0,08
Верхній	0,74	1,04	0,016
Інтервал варіювання	0,22	0,22	0,04

Таблиця 2

Повний план факторного експерименту

Номер досвіду	Фактори			Відгук
	x_1	x_2	x_3	y'
1	+1	-1	-1	y_1
2	+1	-1	-1	y_2
3	+1	-1	0	y_3
4	+1	0	+1	y_4
5	0	0	-1	y_5
6	0	0	-1	y_6
7	-1	+1	0	y7
8	-1	+1	+1	y8

Для проведення експерименту було прийнято факторний план типу 2^3.

Оскільки аналітичний вираз функції відгуку невідомий на підставі апріорних відомостей дослідження, почнемо з подання її у вигляді полінома першого ступеня [5]:

$$F = b_0 + \sum_{i=1}^{k} b_i x_i + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^{k} b_{ij} \quad x_i \quad x_j + \sum_{\substack{i,j,\ldots,n=1 \\ i \neq j \neq \ldots \neq n}}^{k} b_{ijn} \quad x_i \quad x_j \quad \ldots x_n, \quad (3)$$

де x_i, x_j, x_n, – незалежні змінні (фактори); b_0, b_i, b_{ij}, b_{ijn} – коефіцієнт регресії.

Рівні та інтервали варіювання для «супісі» представлені в таблиці 1.

Всі можливі комбінації для трьох факторів будуть вичерпані, якщо ми поставимо по вісім дослідів для кожного ґрунту (таб. 2)

Користуючись результатами експерименту, можна визначити вибіркові коефіцієнти регресії, які є оцінками для теоретичних коефіцієнтів регресії. Відзначимо, що поліноміальне рівняння (3) охоплює «майже стаціонарну область» поверхні відгуку.

Користуючись таким плануванням, можна обчислити коефіцієнти регресії квадратного рівняння за формулою [6]:

$$S_{bj} = \frac{S_{воспр}}{\sqrt{N}}. \quad (4)$$

Основним значенням, на підставі якого надалі розраховуються всі інші характеристики вибірки, є середнє арифметичне і дисперсія. У вибірках малих обсягів (N=8) ці характеристики визначаються прямим розрахунком за формулами [7–9]:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i, \quad (5)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2. \quad (6)$$

Для оцінки величини випадкової помилки виміру існує декілька способів. Найбільш поширена оцінка за допомогою середньоквадратичного відхилення.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}, \quad (7)$$

Середньоквадратична помилка дорівнює [9]:

$$S_n = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (8)$$

Величина абсолютної похибки визначається з виразу [9]:

$$\varepsilon = t_T \cdot S_n, \quad (9)$$

де t_T = значення критерію Стьюдента [9].

Відносна помилка не повинна перевищувати 5%, тому проведемо перевірку справедливості умови:

$$\Delta \geq \frac{\varepsilon}{\bar{x}} \cdot 100\%. \quad (10)$$

Висновки. У даній статті наведена методика проведення експериментального дослідження процесу взаємодії опорної поверхні з ґрунтом під час застосування різних опорних елементів. Після підстановки натуральних значень факторів отримуємо математичну модель процесу взаємодії опорної поверхні лиж крокуючого рушія з ґрунтом. Дана модель апроксимує залежність параметра оптимізації від обраних факторів.

Список літератури:

1. Дзержинська О.В., Крупко І.В., Котляр О.В. Вплив форми опорної поверхні лижи на переміщення крокуючого екскаватора. Збірник наукових трудів «Вісник НТУ «ХПІ». Технології в машинобудівництві. 2017. Вип. 26(1248). С. 81-85.
2. Дзержинська О.В. Дослідження техніко-економічного питання використання крокуючого кривошипно-важильного механізму на драглайні. Сучасні аспекти механізації та автоматизації енергоємних виробництв: збірник наукових праць всеукраїн. научн.-прак. конф. (Покровськ, 11-12 квітня 2017 р.). Покровськ: ДВНЗ «ДНТУ», 2017. С. 32.
3. Дзержинська О.В. Математична модель процесу взаємодії крокуючого крану з ґрунтом. Вісник хмельницького національного університету: Технічні науки. 2018. Вип. 1(257). С. 237.
4. Jaroslaw A. Dynamics of Wheel–Soil Systems: A Soil Stress and Deformation-Based Approach. Journal of Field robotics. 2001. № 18. P. 657–670.
5. Кононюк А.Е. Основы научных исследований (общая теория эксперимента). Київ, 2011. 508 с.
6. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Москва,1976. 280 с.
7. Antony J. Design of Experiments for Engineers and Scientists. Elsevier, 2014. 155 p.
8. Box G.E.P., Draper N.R. Response Surfaces, Mixtures, and Ridge Analyses. Wiley, 2007. 857 p.
9. Аугамбаев М., Иванов А.З., Терехов Ю.И. Основы планирования научно-исследовательского эксперимента. Ташкент, 2004. 336 с.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ШАГАЮЩЕГО ДВИЖИТЕЛЯ С ГРУНТОМ

В статье приводится описание методики проведения экспериментальных исследований процесса взаимодействия опорной поверхности лыж шагающего движителя с грунтом при применении разных опорных элементов. Проведена серия экспериментов с установкой разных по форме и высоте опорных элементов. Можно сделать вывод, что применение опорных элементов «шевронной» формы наиболее эффективно для работы на шагающих движителях.

Ключевые слова: *методика эксперимента, опорная поверхность, опорные элементы.*

METHODOLOGY EXPERIMENTAL RESERCHES OF PROCESSES OF COOPERATION OF SUPPORTING SURFACE A STEPPING MOVER OVER WITH SOIL

In the article the description of the methodology of conducting of experimental researches of the process of interaction of the supporting surface of the skis of the stepping mover with the ground with the application of various supporting elements is given. The series of experiments with the installation setting different in a due form and to the height of supporting elements. Based on which we can conclude that the application of supporting elements «chevron» forms are most effective for work on stepping mover.

Key words*: methodology of experiment, supporting surface, supporting elements.*