

ОЦІНКА АДЕКВАТНОСТІ РОЗРАХУНКОВОЇ МОДЕЛІ НАТУРНОЇ МАШИНИ КОРОТКОБАЗОВОГО КОЛІСНОГО НАВАНТАЖУВАЧА

К.т.н. О.В. Єфименко, к.т.н. Т.В. Плугіна, З.Р. Мусаєв, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Розглянуто методику обробки даних експериментального дослідження. Дана оцінка адекватності розрахункової моделі натурної машини (КБН). Застосовано методи математичного моделювання, а саме, критерій адекватності закону розподілення експериментальним даним.

Рассмотрена методика обработки данных экспериментального исследования. Дана оценка адекватности расчетной модели натурной машины (КБП). Применены методы математического моделирования, а именно, критерий адекватности закона распределения экспериментальным данным.

The method of processing of data of experimental research is considered. The estimation of adequacy of calculation model of model machine is Given (SL). The methods of mathematical design are applied, namely, criterion of adequacy of law of distributing experimental information.

Ключові слова: розрахункова модель, короткобазовий навантажувач, експериментальні дані, закон розподілення, натурна машина, динамічні навантажкня, математичне моделювання

Вступ

Ефективність використання статистичних методів планування експерименту пояснюється тим, що багато важливих характеристик досліджуваних процесів є випадковими величинами, розподіленими по нормального закону.

Характерними особливостями процесу планування експерименту є:

- прагнення мінімізувати число дослідів;
- одночасне варіювання всіх досліджуваних факторів за спеціальними правилами - алгоритмами;
- застосування математичного апарату, що формалізує багато дій дослідника;
- вибір стратегії, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення після кожної серії дослідів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз публікацій з методики обробки експериментальних даних показує, що принципи системного аналізу існуючих динамічних процесів використовуються не повною мірою [1].

Найчастіше методика обробки експериментальних даних не має на увазі використання багатокритеріальних підходів для отримання оцінки адекватності закону розподілення експериментальних даних. Мова йде про комп'ютерне, математичне моделювання та експериментальні дослідження [2,3].

Складність практичного застосування закону розподілення полягає у виборі оптимального критерію адекватності, в зв'язку з використанням комп'ютерних технологій для моделювання та візуалізації складних динамічних процесів[4]. Однак, досвід використання розрахункових програмних комплексів показує, наскільки необхідне використання методів багатокритеріального аналізу для моделювання динаміки будівельних і дорожніх машин.

Актуальність

Актуальним є завдання формування підходу до обробки експериментальних даних за рахунок методів багатокритеріального математичного аналізу. Для перевірки адекватності теоретичної кривої необхідно застосувати один із критеріїв: Пірсона, Романовського, Колмагорова. У даній статті приводиться у якості прикладу критерій Пірсона.

Мета і задачі роботи

Мета роботи - підвищити ефективність використання методики обробки експериментальних даних за рахунок використання методів математичного аналізу.

Перевірка адекватності експериментальних даних

В результаті обробки експериментальних даних були отримані графіки залежностей динамічних навантажень в тяговому приводі, гідроциліндрах підйому стріли і на металоконструкції робочого обладнання короткобазового колісного навантажувача (КБН) від часу при подоланні навантажувачем одичної нерівності, при варіюванні швидкості і маси вантажу в ковші.

Оцінка адекватності розрахункової моделі натурної машини виконувалася за критерієм Пірсона χ^2 . Нижче наведено приклади експериментальних та розрахункових даних по зусиллю, що розвиває шток гідроциліндра підйому стріли і їх апроксимація рівнянням виду:

$$a + bs^3 + cs + d \sin(1.4s) \quad (1)$$

Обрано приклад при найбільшій розбіжності експериментальних і розрахункових величин.

Приклад розрахунку виконаний в середовищі Mathcad

Завдання масиву експериментальних даних: X - час, с; Y - зусилля, кН;

$$X = \begin{pmatrix} 0.01 \\ 0.02 \\ 0.03 \\ 0.04 \\ \dots \\ 0.32 \end{pmatrix} \quad Y = \begin{pmatrix} 24.594 \\ 23.613 \\ \dots \\ 43.233 \\ \dots \\ 24.449 \end{pmatrix}$$

Постійні коефіцієнти рівняння апроксимації:

$$K(s) = \begin{pmatrix} 1 \\ s^3 \\ s \\ \sin(1.4s) \end{pmatrix}$$

Значення постійних коефіцієнтів:

$$F = \begin{pmatrix} 28.168 \\ -5.87 \times 10^5 \\ 1.82 \times 10^6 \\ -1.3 \times 10^6 \end{pmatrix}$$

Після підстановки у вихідне рівняння знайдених коефіцієнтів отримуємо рівняння апроксимації експериментальних даних. Часовий проміжок при цьому склав 0.32 с. Значення при цьому змінювалося в межах $i = 0 \dots 31$

$$f_i = F_0 + F_1 \cdot s_i^3 + F_2 \cdot s_i + F_3 \cdot \sin(1.4s_i) \quad (2)$$

Для оцінки достовірності отриманих результатів проводилося узгодження експериментальних і розрахункових значень з рівнянням апроксимації. Для підтвердження правильності прийнятих рішень, як зазначалося раніше, прийнятий критерій Пірсона χ^2 .

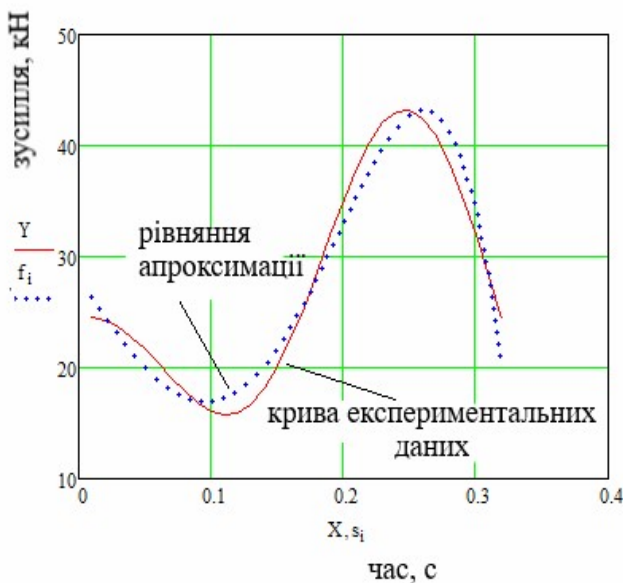


Рис. 1. Залежність зусилля у гідроциліндрі підйому стріли КБН від часу при мінімальному заповненні ківа

Критерій Пірсона χ^2 - найбільш часто вживається для перевірки гіпотез. Розглянемо його визначення для зусилля в гідроциліндрах при переїзді КБН через одиничну перешкоду.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^q \frac{(f_i - Y_i)^2}{Y_i} \quad (3)$$

де Y_i - експериментальне значення зусилля що розвиває шток гідроциліндра;

f_i - функція, задана рівнянням апроксимації;

q - число ступенів свободи.

Число ступенів свободи визначається співвідношенням:

$$q = m - S - 1, \quad (4)$$

де m - число експериментальних точок ($m = 32$);

S - число констант рівняння регресії ($S = 4$).

Після підстановки даних отримали: $\chi^2 = 3.733$.

Ймовірність збігу розрахункових значень з експериментальними визначається з рівняння:

$$P(\chi^2, q) = \frac{1}{\Gamma\left(\frac{q}{2}\right) \cdot 2^{\frac{q}{2}}} \cdot \int_0^{\chi^2} x^{\frac{q}{2}-1} \cdot e^{-\frac{x}{2}} dx, \quad (5)$$

де χ^2 - критерій Пірсона;

q - число ступенів свободи;

$\Gamma\left(\frac{q}{2}\right)$ - ймовірність g - розподілу.

При порівнянні експериментальних даних з даними рівняння апроксимації при $q = 26$ і $\chi^2 = 3.733$, виявилось, що ймовірність їх збігу відповідно до таблиці 19.5 - 4 [1], що дорівнює $P(\chi^2, q) = 0,88$.

Порівняння експериментальних даних з апроксимованою кривою, яка виражена поліномом 3-го ступеня, свідчить про достатню збіжність результатів і відповідає критерію Пірсона на 88%.

На рис. 1 наведено порівняння даних розрахункового та експериментального зусилля в гідроциліндрі підйому стріли КБН від часу.

З огляду на те, що експерименти проводилися на натурній машині в польових умовах, отриманий результат можна вважати прийнятним, а розрахункову модель адекватній натурній машині.

Аналогічним способом була проведена оцінка узгодження точок, отриманих розрахунковим шляхом з рівнянням апроксимації даних комп'ютерного моделювання.

В результаті було встановлено, що $\chi^2 = 3.895$,

$P(\chi^2, q) = 0.84$. Порівняння даних комп'ютерного моделювання з апроксимованою кривою, яка виражена поліномом 3-го ступеня, свідчить про достатню збіжність результатів і відповідає критерію Пірсона на 84%.

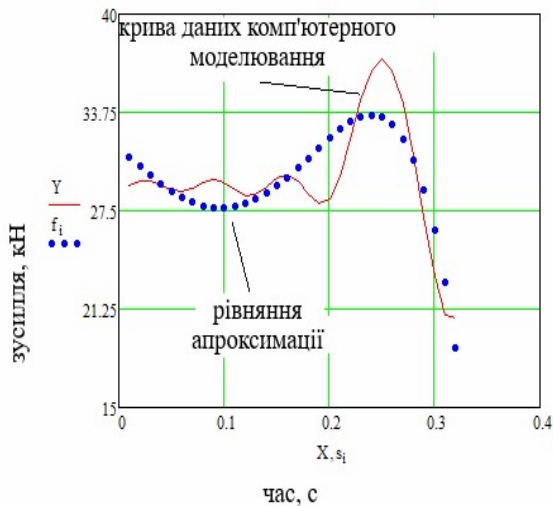


Рис. 2. Залежність зусилля в гидроциліндрі підйому стріли КБН від часу при мінімальному заповненні ківша

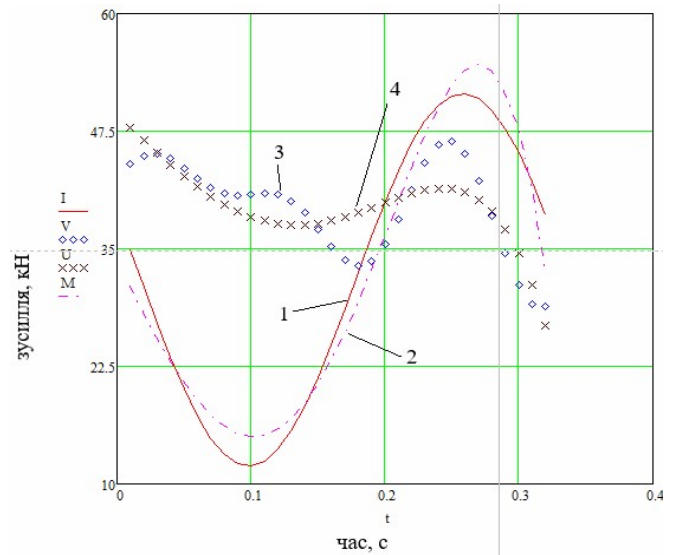


Рис. 4. Залежність зусилля в гидроциліндрі підйому стріли КБН від часу при максимальному заповненні ківша: 1 - експериментальні значення, отримані після обробки осцилограм; 2 - експериментальна залежність; 3 - значення комп'ютерного моделювання, отримані після обробки осцилограм; 4 – залежність що була отримана після обробки даних комп'ютерного моделювання

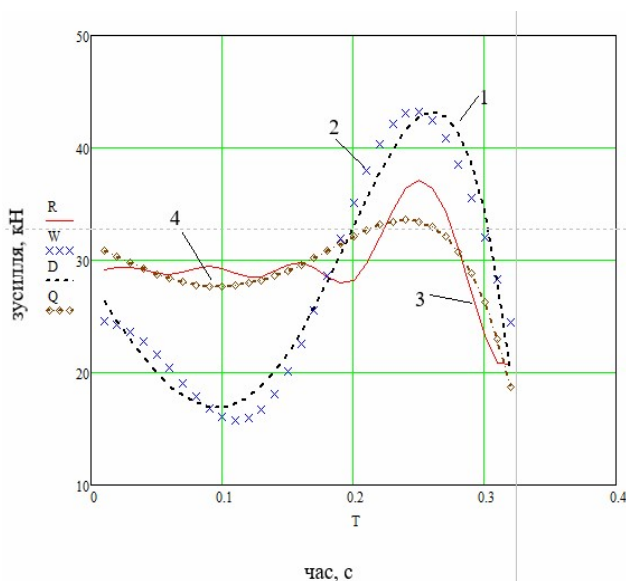


Рис. 3. Залежність зусилля в гидроциліндрі підйому стріли КБН від часу при мінімальному заповненні ківша: 1 - експериментальні значення, отримані після обробки осцилограм; 2 - експериментальна залежність; 3 - значення комп'ютерного моделювання, отримані після обробки осцилограм; 4 – залежність що була отримана після обробки даних комп'ютерного моделювання

Порівняння розрахункових даних отриманих шляхом комп'ютерного моделювання та експериментальних осцилограм показує, що за максимальним значенням вони збігаються, однак за характером кривих простежуються деякі невідповідності (рис.2-4). Це пов'язано з особливостями моделювання використовуваних в роботі програмних пакетах.

Справа в тому, що такі програми як SolidWorks або Autodesk Inventor не враховують пружні властивості еластичних матеріалів, хоч і володіють достатньою точністю.

Однак не дивлячись на вищевикладені обставини комп'ютерна модель адекватна експериментальній на 73% відповідно до критерію Пірсона χ^2 .

Висновки

Отримані експериментальні дані і рівняння апроксимації за характером відповідають розрахунковим залежностям: в діапазоні кривих розбіжність між розрахунковими і експериментальними даними не перевищує 14%.

Перевірка за критерієм Пірсона свідчить, що дані, отримані методами комп'ютерного моделювання збігаються з експериментальними на 73%. Наведене свідчить про достатню адекватність комп'ютерної моделі натурної машини.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Розенфельд М. В. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з технології наукових досліджень / М. В. Розенфельд – ХНАДУ, 2010.
2. Єфименко О. В. Проектування будівельних та дорожніх машин шляхом порівняння їх комп'ютерного та фізичного дослідження / Плуґіна Т. В., Мусаєв З. Р. – Будівництво, матеріалознавство, машинобудування, ПДБА, 2017, Вип. 97, С. 99
3. Черніков О. В., Москаленко А. І., Оболенський О. С. Дослідження руху фронтального навантажувача в пакеті Autodesk Inventor / О. В. Черніков, А. І. Москаленко, О. С. Оболенський // Прикл. геометрія та інж. графіка. – К.: КНУБА, 2012. – Вип. 89. – С. 382-386.
4. Нефедов Л.І. Обобщенная модель системного синтеза автоматической трансмиссии / Л.И. Нефедов, А.А.Осьмачко. – Восточно-европейский журнал передовых технологий, № 4 (42), том 6, 2009, С. 10-13.