

УДК 681.5.015

*О. А. КОВАЛЬ*, канд. техн. наук, ХНАДУ, Харків  
*О. В. ВІКТОРОВА*, асп., ХНАДУ, Харків

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ДОРОЖНЮ МАШИНУ

На основі статистичних методів, аналізу результату ряду експериментальних досліджень динамічних навантажень дорожньої машини, побудовані та проаналізовані математичні моделі динамічних навантажень на основі методу кускової апроксимації.

**Ключові слова:** динамічне навантаження, дорожня машина, кускова апроксимація, математичне моделювання.

На основе статистических методов, анализа результата ряда экспериментальных исследований динамических нагрузок дорожной машины, построены и проанализированы математические модели динамических нагрузок на основе метода кусочной аппроксимации.

**Ключевые слова:** динамическая нагрузка, дорожная машина, кусочная аппроксимация, математическое моделирование.

Based on statistical methods for analyzing a series of experimental studies of dynamic loading of road vehicles are built and analyzed mathematical models of dynamic loads on the basis of piecewise approximation.

**Keywords:** dynamic load, road vehicles, piecewise approximation, mathematical modeling.

### Вступ

Сучасні дорожні машини (ДМ) є складними модульними системами, які повинні забезпечувати високу надійність, продуктивність та якість виконуваних робіт. Для забезпечення цих вимог необхідно щоб ДМ комплектувались діагностичною системою та системою управління. Ефективність роботи діагностичної системи та системи управління визначається достовірністю, точністю, кількістю і періодичністю вимірювальної інформації, яка надходить з бортової вимірювально-інформаційної системи.

Під час виконання робочих операцій на елементи конструкції і робочий орган ДМ впливають динамічні навантаження. Характер даних динамічних навантажень залежить як від типів ґрунтів, так і від режимів роботи ДМ. Характерним для цих динамічних навантажень є те, що вони носять стохастичний характер, з змінними в часі параметрами. Урахувати подібного роду динамічні похибки є складним статистичним завданням. Це обумовлене в першу чергу необхідністю всебічного експериментального вивчення динамічних навантажень ДМ. Проведення експериментальних досліджень пов'язане з рядом труднощів. Велика кількість експериментів вимагає значних економічних витрат. У процесі експериментальних досліджень потрібно розв'язати триєдине завдання: дослідити всі види динамічних навантажень; урахувати режими роботи ДМ; урахувати всі дестабілізуючі фактори викликані умовами експлуатації ДМ. Таким чином,

виникає завдання пошуку шляхів для зниження складності і високої вартості експериментальних досліджень динамічних навантажень ДМ.

### Постановка завдання

На основі статистичних методів аналізу результату ряду експериментальних досліджень динамічних навантажень ДМ, які були проведені в ХНАДУ протягом 3-х років (2008 – 2011 р.) побудувати математичні моделі динамічних навантажень на основі методу кускової апроксимації.

### Аналіз і результати моделювання

Проаналізувавши експериментально отримані дані про динамічні навантаження на робочий орган і металоконструкцію була встановлена наступна динаміка змін режимів роботи ДМ (автогрейдера Дзк-251): слабонавантажений, середньонавантажений і сильнонавантажений режим [1].

Розглянемо методуку побудови математичної моделі для сильнонавантаженого режиму роботи ДМ (рис.1).

Необмежену вибірку виміряних

значень динамічних навантажень  $g(t)$  замінимо обмеженою  $g(t_0, t_n)$ .

В основу побудови моделі покладемо метод кускової апроксимації [2]. Відповідно до цього методу розіб'ємо весь інтервал моделювання динамічних навантажень на  $n$  достатньо малих інтервалів  $(t_m, t_{m+1})$ , де  $m = 0, \dots, n-1$ , таким чином, щоб на кожному із цих інтервалів функцію деформації можна було

апроксимувати достатньо простими функціями (рис.2).

Детальний аналіз результатів експериментальних досліджень динамічних навантажень ДМ у сильнонавантаженому режимі показав, що для даного динамічного режиму доцільно весь інтервал моделювання розбити на 5 підінтервалів (рис.2).

Експериментально було встановлено, що типова тривалість кожного підінтервала (рис.2), для даного режиму роботи ДМ становить:

$$dt_1 = 11552(мс), dt_2 = 791(мс), dt_3 = 8219(мс), dt_4 = 333(мс), dt_5 = 2176(мс).$$

Таким чином, весь часовий масив буде складатися з підмасивів:

$$t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 \quad (1)$$

де

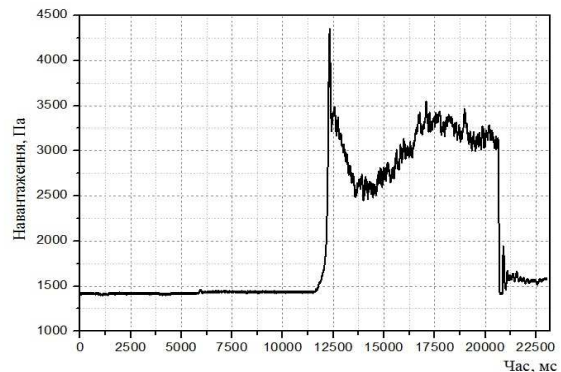


Рис.1. Деформація рами в сильно навантаженому режимі роботи ДМ

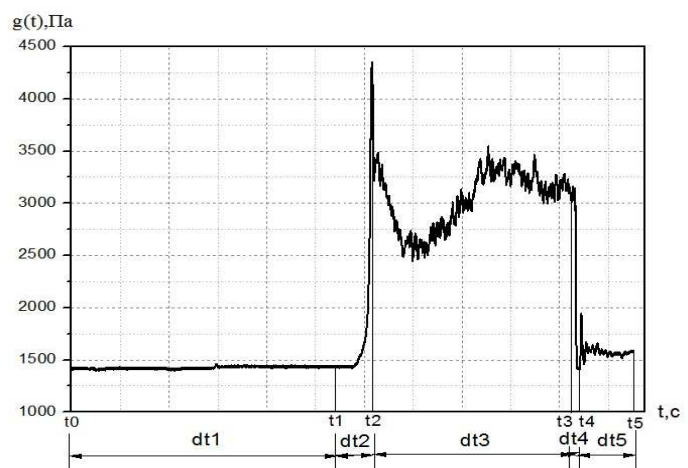


Рис.2. Інтервал моделювання

$$t_1 = 1: dt_1,$$

$$t_2 = dt_1 + 1: dt_1 + 1 + dt_2,$$

.....,

$$t_5 = dt_1 + dt_2 + dt_3 + dt_4 + 4: dt_1 + dt_2 + dt_3 + dt_4 + 4 + dt_5.$$

Відповідно до розмірності часового масиву необхідно моделювати і відповідні динамічні навантаження:

$$g(t) = g_1(t_1) + g_2(t_2) + g_3(t_3) + g_4(t_4) + g_5(t_5) \quad (2)$$

Кожний з підмасивів динамічного навантаження  $g_1(t_1), g_2(t_2), \dots, g_n(t_n)$

необхідно моделювати з відповідним законом розподілу амплітуди та фази випадкового впливу динамічних навантажень на робочі органи та конструкцію ДМ.

Набрана трирічна статистика експериментальних досліджень дозволила встановити статистичні параметри динамічних навантажень на кожному з під інтервалів часу, що моделюються.

Так на інтервалі  $(t_0, t_1)$  (рис.2) закон розподілу динамічного навантаження  $g_1(t_1)$  близький до гаусівського з математичним очікуванням 1400...1430 Па, дисперсією 58 Па. Частота вібрацій рами ДМ при цьому була близько 0.0005 Гц. Тому аналітичний вираз буде мати такий вигляд:

$$g_1(t_1) = 1400 + 5 \sin 2\pi * 0.0005 * t_1 \quad (3)$$

Для другого підінтервалу  $(t_1, t_2)$  характерно різке зростання навантаження (пік навантаження) (рис.2). Відношення найбільшого навантаження до середнього перевищує 3.0, а частота таких навантажень перевищує 2...3 протягом 10...15 с. Виходячи з отриманих експериментальних даних встановлено, що дана випадкова величина має рівномірний закон розподілу з математичним очікуванням, яке змінюється в межах від 3000 до 5000 Па. Реалізація випадкової величини  $g_2(t_2)$  має вигляд:

$$g_2(t_2) = 1400 + \exp(t_2 / A_1) \quad (4)$$

де  $A_1$  – амплітуда динамічного навантаження при різних типів ґрунтів з середнім значенням 96...103 Па.

Динамічне навантаження  $g_3(t_3)$  на підінтервалі  $(t_2, t_3)$  характеризується нормальним законом розподілу з математичним очікуванням 800...1125 Па і дисперсією 38 Па. Даному інтервалу властиві затухаючі коливання частотою 0.00016 Гц (рис.2), на які накладаються нормально розподілені випадкові навантаження, коливання яких мають більш високі частоти 0.002...0.032 Гц і значно меншу амплітуду 8...30 Па.

Результуюча модель динамічних навантажень, що впливають на ДМ на підінтервалі  $(t_2, t_3)$  буде описуватися наступним виразом:

$$g_3(t_3) = 3330 - \exp(-t_3/A_2) * (A_3 \sin 2\pi * 0.00016 t_3 + 30 \sin 2\pi * 0.002 t_3 + 20 \sin 2\pi * 0.006 t_3 + 8 \sin 2\pi * 0.032 t_3) \quad (5)$$

де  $A_2$  - нормально розподілена випадкова величина (амплітуда динамічних навантажень), з середнім значенням 5000...10000 Па;  $A_3$  - амплітуда нормально розподілених навантажень з математичним очікуванням в межах 800...1125 Па.

На підінтервалі  $(t_3, t_4)$  помітне значне зниження динамічного навантаження  $g_4(t_4)$  на металоконструкцію ДМ, тривалість якого склала близько 333 мс. Модель підмасива динамічного навантаження  $g_4(t_4)$  описується рівнянням:

$$g_4(t_4) = 3000 - \frac{1100t_4}{L_4} \quad (6)$$

де  $L_4$  - період випадкових коливань динамічних навантажень, що враховує тип ґрунту з математичним очікуванням в межах 20567...20900 мс.

Далі опишемо аналітичним виразом навантаження ДМ  $g_5(t_5)$  на підінтервалі  $(t_4, t_5)$ . Спочатку підінтервалу мають місце короткі сплески (піки навантаження) навантаження, які не перевищують її середнє значення на даному інтервалі. Максимальне значення піків навантаження не перевищувало 1200 Па. Для даного інтервалу також характерні затухаючі коливання частотою від 0.005 Гц до 0.032 Гц. Математична модель, що описує динамічне навантаження на інтервалі  $(t_4, t_5)$  буде мати вигляд:

$$g_5(t_5) = 1550 + \exp(-t_5) + \exp(-t_5 / A_4) * (350 \cos 2\pi * 0.002t_5) + 25 \sin 2\pi * 0.005t_5 + 8 \sin 2\pi * 0.032t_5 \quad (7)$$

де  $A_4$  - амплітуда нормально розподілених динамічних навантажень при різних типів ґрунтів з математичним очікуванням в межах 400...1200 Па.

Результати математичного моделювання з використанням пакета Matlab представлені на рис.3.

Як видно з рис.3. результати моделювання динамічних навантажень досить близькі до результатів експериментальних досліджень.

Достовірність результатів моделювання оцінювалася статистичним методом. У якості критеріїв адекватності було обране відхилення середнього значення та середньоквадратичного відхилення модельованих навантажень від експериментально отриманих. Результати статистичного оцінювання критеріїв

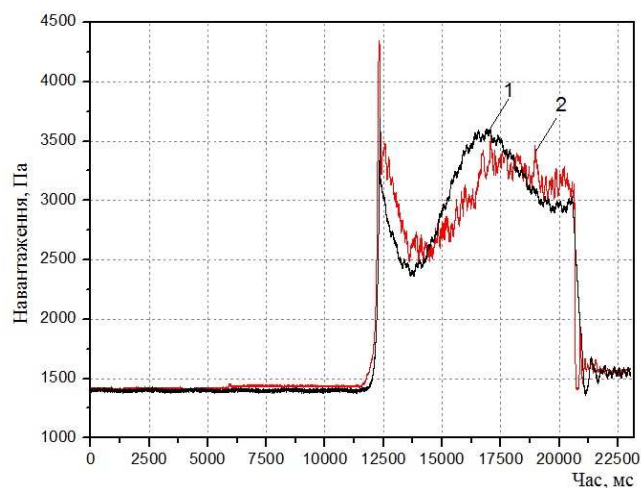


Рис.3. Результати вимірювання і математичного моделювання динамічних навантажень: 1 – результати математичного моделювання динамічних навантажень, 2 – експериментально виміряні динамічні навантаження

адекватності показують, що з імовірністю 0.95 результати моделювання динамічних навантажень, що впливають на ДМ відповідають результатам експериментальних досліджень.

### **Висновки**

Таким чином, запропонована методика математичного моделювання динамічних навантажень, що впливають на робочі органи ДМ дозволяє без значних економічних витрат провести моделювання динамічних навантажень у різних режимах роботи ДМ, різних типів ґрунтів і різних кліматичних умовах.

Результати моделювання можуть бути використані як на етапі конструювання ДМ і її бортовій вимірювально-інформаційній системі, так і в процесі поточної експлуатації для прогнозування надійності систем і вузлів, міцності рами ДМ.

**Список літератури:** 1. Вікторова, О. В. Використання м'яких обчислень в інтелектуальних інформаційно-вимірювальних системах дорожніх машин [Текст] / О. В. Вікторова, А. О. Коваль // Вестник ХНАДУ : сб. науч. тр. – Харьков : ХНАДУ. – 2011. – № 53. – С. 3 – 8. 2. Манаков, А. А. Основы математического моделирования радиотехнических систем: учеб. пособие [Текст] / А. А. Манаков. – СПб. : ГУАП, 2005. – 100 с.

*Поступила в редколлегию 23.11.2011*

**УДК 621.792.8:519.3**

**А.А. СВЯТУХА**, канд.техн.наук, доц., УИПА, Харьков

**И.Б. ПЛАХОТНИКОВА**, ст. преп., УИПА, Харьков

## **ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ НА ПРОЧНОСТЬ НЕПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, СОБРАННЫХ ТЕПЛОВЫМ МЕТОДОМ**

У роботі розглядається принцип визначення характеристик міцності zdeформованого проміжного шару між спряженими поверхнями з'єднань з натягом, зібраних тепловим способом.

**Ключові слова:** Складання, з'єднання, міцність, покриття, розрахунок.

В работе рассматривается принцип определения прочностных характеристик сдеформированного промежуточного слоя между сопряжёнными поверхностями соединений с натягом, собранных тепловым способом.

**Ключевые слова:** Сборка, соединения, прочность, покрытия, расчёт.

In this work we offer to consider about the principle of definition of durability's characteristics of a deformed intermediate layer between the interfaced surfaces of connections with a tightness, collected by a thermal method.

**Key words:** Assembly, connections, durability, coverings, calculation

### **Постановка проблемы**

Прочность соединений с натягом, собранных тепловым методом с использованием различных покрытий охватываемой детали (вала) во многом определяется прочностными свойствами сдеформированного слоя [1]. В настоящее время большинство предлагаемых расчётов прочности скрепления