

*В.В. Чигрин, ад'юнкт, НУЦЗУ,
Б.І. Кривошей, к.т.н., доцент, НУЦЗУ*

ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ДИСБАЛАНСУ ПРИ РОБОТІ ВІДЦЕНТРОВИХ ПОЖЕЖНИХ НАСОСІВ

(представлено д-ром техн. наук Лариним О.М.)

В статті розглядається питання визначення дисбалансу робочого колеса відцентрового пожежного насосу в результаті потрапляння щебеню різного розміру і ваги в його проточну частину та визначення закономірності найбільш небезпечного розміру щебеню.

Ключові слова: відцентровий пожежний насос, дисбаланс робочого колеса, ймовірності потрапляння, щільність розподілу.

Постановка проблеми. Однією з причин передчасного виходу з ладу відцентрового пожежного насосу при гасінні пожежі можна назвати його вібрацію, що виникає в результаті дисбалансу робочого колеса. Коливання валу насоса може бути описано диференціальним рівнянням типу:

$$\frac{d^2}{dx^2} \left[EI(x) \frac{d^2 w(x)}{dx^2} \right] - q(x), \quad (1)$$

де x – координата; w – прогин валу.

Тобто коливання валу залежить від: розміру валу (I – момент інерції), матеріалу (E – модулю пружності) та зовнішньої сили ($q(x)$ – дисбаланс). Дисбаланс виникає при попаданні сторонніх предметів в проточну частину насоса. При проведенні статистичного аналізу на факт наявності сторонніх предметів в порожнині відцентрових насосів в пожежних частинах міста Харкова, були виявлені наступні предмети: каміння, куски метала, куски деревини тощо. Аналіз показав що найчастіше в корпусі насоса знаходять каміння щебеню та, в поодиноких випадках, сталеві болти з хвилерізів пожежної цистерни. Тобто щебінь є найбільш небезпечним предметом, який викликає дисбаланс робочого колеса.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [1] була розглянута проблема виникнення дисбалансу робочого колеса пожежного насоса внаслідок потрапляння сторонніх предметів, але не була визначена величина дисбалансу в залежності від ваги та розміру щебеню котрий потрапив в проточну частину колеса.

Постановка завдання та його вирішення. Метою роботи є визначення величини дисбалансу робочого колеса відцентрового поже-

жного насосу в залежності від розміру та ваги щебеню що потрапив в проточну частину насосу.

Більше 90% пожеж [2], які виникають в містах гасяться шляхом забору та подачі води при установці автоцистерни на пожежний гідрант. Вони встановлені на трубопроводах міської системи водопостачання. Під час забору води з пожежного гідранта порожнина пожежного насоса не захищена, як це відбувається при заборі води з водоймищ. При заборі води з водоймища в кінці всмоктувальної лінії використовується всмоктувальна сітка конструкцією якої передбачається захист порожнини всмоктувальної лінії від потраплянь всередину сторонніх предметів. На пожежні гідранти встановлюється пожежна колонка, конструкцією якої не передбачено захист проточної частини. Внаслідок цього відбувається потрапляння сторонніх предметів, а саме щебеню, які знаходяться в системі водопостачання через пожежний гідрант та пожежну колонку в порожнину насосу.

За допомогою програмного забезпечення MATLAB було визначено ймовірність потрапляння щебеню в проточну частину пожежного насосу [3].

Щільність розподілу $f(x)$ - це межа відношення вірогідності потрапляння величини X в малий інтервал до ширини цього інтервалу, коли ширина прагне до нуля. Доводиться задавати малі, але кінцеві інтервали, і підраховувати вірогідність потрапляння в кожен з них. Згідно теореми Бернуллі спроможна і незміщена оцінка ймовірності потрапляння в кожний j -й інтервал - це частота n_j/n . Тоді вибіркова щільність розподілу - це відношення частоти потрапляння n_j/n до ширини інтервалу h_j :

$$f(x) = \frac{n_j}{n \cdot h_j} \quad (2)$$

Хід клапана пожежного гідранта становить $30 \cdot 10^{-3}$ м [4], а величина умовного проходу на вході, всмоктувальної порожнини, в робочому колесі становить $45 \cdot 10^{-3}$ м та $14 \cdot 10^{-3}$ м на виході між лопатками. Тобто розмір інтервалу щебеню котрий може потрапити в порожнину робочого колеса буде знаходитися в діапазоні від 14 до $45 \cdot 10^{-3}$ м. Але у зв'язку з тим, що лопатки робочого колеса мають певну форму та кут нахилу і знаходяться на певній відстані одна від одної даний інтервал має ще один критичний розмір. Цей розмір дорівнює $26 \cdot 10^{-3}$ м (відстань між лопатками) який розбиває інтервал $\{14; 45\}$ на два інтервали $\{14; 26\}$ і $\{26; 45\}$. Тобто мінімальний розмір щебеню буде $x_{\min} = 14 \cdot 10^{-3}$ м, а максимальний $x_{\max} = 45 \cdot 10^{-3}$ м. Для використання формули (2) спочатку весь діапазон змінних даних $\{x_{\min}; x_{\max}\}$ потрібно розбити на інтервали. Зазвичай для зручності беруть інтервал однакової ширини $h=3$: $14-17 \cdot 10^{-3}$ м, $18-20 \cdot 10^{-3}$ м, $21-23 \cdot 10^{-3}$ м, $24-26 \cdot 10^{-3}$ м, $27-29 \cdot 10^{-3}$ м, $30-32 \cdot 10^{-3}$ м.

3 м, $33-35 \cdot 10^{-3}$ м, $36-38 \cdot 10^{-3}$ м, $39-41 \cdot 10^{-3}$ м, $42-44 \cdot 10^{-3}$ м.

Знаючи щільність розподілу $f(x)$ ми зможемо знайти ймовірність потрапляння $p(X)$ даного інтервалу розміру щебеню в порожнину робочого колеса. Ймовірність потрапляння буде визначатися за формулою:

$$p(X) = f(x) \cdot h \quad (3)$$

Ймовірність потрапляння щебеню в порожнину насосу розмірами від 14 до $45 \cdot 10^{-3}$ м підпорядковується логнормальному розподілу.

В таблиці 1 приведені данні з якою ймовірністю буде потрапляти щебінь (різного розміру й ваги) та зупинятися (заклинювати) в порожнині робочого колеса на різній відстані (R) від центру обертання (рис. 1, а).

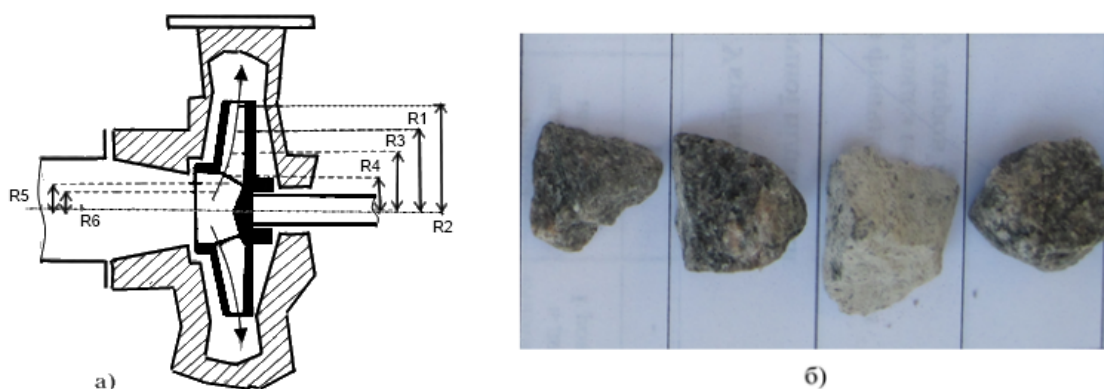


Рис. 1 – Поперечний переріз пожежного насосу: а) місце зупинки щебеню в залежності від його розміру; б) загальний вигляд щебеню

Щебінь розміром від $14-26 \cdot 10^{-3}$ м буде знаходитися в порожнині робочого колеса між лопатками на відстанях $R1=0,134$ м, $R2=0,127$ м, $R3=0,122$ м, $R4=0,118$ м та розміром від $26-44 \cdot 10^{-3}$ м в всмоктувальній порожнині робочого колеса перед лопатками з відповідними відстанями $R5=R9=0,054$ м та $R10=0,052$ м.

При роботі насосу без потрапляння щебеню в проточну частину робочого колеса дисбаланс буде відсутній, а з'явиться лише тоді коли в потоці рідини з'явиться щебінь з певним розміром (більше $14 \cdot 10^{-3}$ м) та вагою. Величина дисбалансу в цьому випадку буде залежати від відстані (R , м.) на якій зупиниться щебінь та його ваги ($m_{щ}$, кг):

$$D = R \cdot m_{щ} \quad (4)$$

З таблиці 1 видно, що найбільший дисбаланс виникає при потраплянні щебеню розміром $40-44 \cdot 10^{-3}$ м та середньою вагою $28,6 \cdot 10^{-3}$ кг який дорівнює $D = 1,4872 \cdot 10^{-3}$ м·кг. Ймовірність потрапляння буде складати $p(X)=0,015$. Найменший дисбаланс виникає при потраплянні

щебеню розміром $14-17 \cdot 10^{-3}$ м та середньою вагою $3 \cdot 10^{-3}$ кг. і дорівнює $D = 0,000402$ м·кг.; з ймовірністю потрапляння $p(X)=0,09$.

Таблиця 1 – Значення розрахованих величин

Розмір щебеню $L \cdot 10^{-3}$, м	Середня вага щебеню $m_{щ} \cdot 10^{-3}$, кг	Радіус віддалення щебеню від осі вала $R \cdot 10^{-3}$, м	Дисбаланс $D \cdot 10^{-3}$, м·кг	Щільність розподілу $f(x)$	Ймовірність потрапляння $p(X)$	Відсоток потрапляння, %
1	2	3	4	5	6	7
14-17	3	134	0,402	0,03	0,09	4,00
18-20	4,8	127	0,6096	0,03	0,09	4,00
21-23	6	122	0,732	0,037	0,111	10,00
24-26	7,58	118	0,89444	0,075	0,225	22,00
27-29	11	54	0,594	0,11	0,33	37,00
30-32	13	54	0,702	0,05	0,15	13,00
33-35	15	54	0,81	0,03	0,09	4,00
36-38	19,1	54	1,0314	0,01	0,03	3,00
39-41	25	54	1,35	0,005	0,015	1,50
42-44	28,6	52	1,4872	0,005	0,015	1,50

При виникненні дисбалансу в робочому колесі виникає додаткова сила, яка негативно впливає на довговічність та працездатність підшипникового вузла насосу. Тому подальші дослідження треба направити на визначення впливу дисбалансу на довговічність підшипників.

Висновки. Отримані в результаті дослідження дані дозволили зробити висновок, що найбільш небезпечний дисбаланс буде викликати щебінь з розмірами $24-26 \cdot 10^{-3}$ м і $27-29 \cdot 10^{-3}$ м. та середньою вагою $7,58 \cdot 10^{-3}$ кг і $11 \cdot 10^{-3}$ кг (рис. 1, б), який складатиме $D=0,89444 \cdot 10^{-3}$ м·кг і $D=0,594 \cdot 10^{-3}$ м·кг, та ймовірністю потрапляння $p(X)=0,225$ і $p(X)=0,33$.

ЛІТЕРАТУРА

1. Чигрин В.В. Динамічні навантаження при роботі відцентрових насосів / В.В. Чигрин// Проблеми пожежної безпеки. – 2011. - №30 – С. 268-272.
2. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2011 році: МНС України [Електронний ресурс]. — Режим доступу до доповіді: http://www.mns.gov.ua/content/national_lecture.html.
3. Иглин С.П. Теория вероятностей и математическая статистика на базе MATLAB / С.П. Иглин – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – 612 с.

4. Гидранты пожарные подземные. Технические условия: ГОСТ 8220-85* – [Действующий от 1987-01-01]. – М.: Межгосударственный стандарт, 2002- I.

nuczu.edu.ua

В.В. Чигрин, Б.И. Кривошей

Определение величины дисбаланса при работе центробежных пожарных насосов

В статье рассматривается вопрос определения дисбаланса рабочего колеса центробежного пожарного насоса в результате попадания щебня разного размера и веса в его проточную часть, а так же определение закономерности наиболее опасного размера щебня.

Ключевые слова: центробежный пожарный насос, дисбаланс рабочего колеса, вероятности попадания, плотность распределения.

V.V. Chigrin, B.I. Krivoshey

Determination of the imbalance in the work of centrifugal fire pumps

In the article the question of determination of disbalance of driving wheel of centrifugal fireman is examined nasosu as a result of hit the macadam of different size and weight in his running part and exposure of conformity to the law of the most dangerous size to the macadam.

Keywords: fire chempump, disbalance of driving wheel, probabilities of hit, distributing closeness.