

Р.І. Божко (магістрант)

Мазнев О.В. (магістрант)

науковий керівник - **Л.М. Козиряцький** (канд. техн. наук, проф.)

Донецький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ТВЕРДОЇ ФРАКЦІЇ У ВЕРТИКАЛЬНОМУ ВОДОПОВІТРЯНОМУ ПОТОЦІ ПІДНІМАЛЬНОЇ ТРУБИ ЕРЛІФТА

В роботі встановлені основні закономірності руху твердого тіла у водоповітряному потоці піднімальної труби ерліфта, проаналізовані теоретичні та експериментальні дані, визначені значення коефіцієнту опору руху твердого тіла.

Ключові слова: ерліфт, піднімальна труба, тверда фракція, дослідження, гідравлічна крупність, коефіцієнт опору, транспортна швидкість, експериментальні залежності.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами. В проектуванні ерліфтних установок для підйому твердого матеріалу дуже важливою є задача підтримки заданої швидкості потоку водоповітряної суміші (транспортної швидкості) в трубопроводі що подає й піднімальному трубопроводі, яка повинна бути вище критичні [2]. Мала швидкість потоку робить неможливим перенос потоком твердих фракцій, щільність яких перевищує щільність рідини або призводить до накопичення в усмоктувальному пристрої значної кількості твердого матеріалу, що призводить до закупорювання ерліфта. Занадто висока швидкість потоку призводить до великих значень втрат напору рідини, перевитрати стиснутого повітря, що призводить до зниження ККД ерліфта, також призводить до посиленого зношування труб і всіх конструктивних вузлів і елементів, збільшенню динамічних навантажень, може призводити до підвищеного здрибнювання твердого матеріалу [1].

Аналіз дослідів та публікацій. У роботі [1], встановлені закономірності руху твердого тіла в стиснутих умовах, справедливі для гомогенних середовищ, для розрахунку кінематичних параметрів при русі твердих тіл у водоповітряному потоці, основні положення яких були підтверджені експериментом. Наведені дані експериментальних досліджень, для твердих тіл різної щільності й розмірів, завдяки якому встановлені значення коефіцієнту опору руху твердого тіла, та побудовані експериментальні криві. У роботі [2] наведені розрахункові методики технологічних процесів гідравлічного

транспорту. У роботі [3] даються основи теорії, розрахунку й порядок експлуатації ерліфтів, приведений гідравлічний розрахунок ерліфтної установки.

Задачі дослідження. Ціллю даного дослідження є аналіз виконаних на кафедрі ЄМС теоретичних і експериментальних робіт з цієї тематики та визначення закономірностей руху твердої фракції у піднімальній трубі ерліфта на основі експериментальних даних, визначення коефіцієнтів опору руху твердого тіла в водоповітряному потоці піднімальної труби ерліфта.

Викладення матеріалу та результати. Звичайно в розрахунках кінематичних параметрів при русі твердих тіл у водоповітряній потоці застосовують закони, справедливі для гомогенних середовищ. Виходячи із цього визначається кінематичний параметр, що найбільш повно характеризує рух твердого тіла у вертикальному водоповітряному потоці - це гідравлічна крупність V_0 . Це швидкість водоповітряного потоку, при якій тверде тіло перебуває у зваженому стані, не опускається і не піднімається [1]. Слід зазначити, що гідравлічна крупність V_0 іноді прирівнюють до швидкості витання V_B або критичної швидкості $V_{кр}$.

Гідравлічна крупність визначається за залежністю:

$$V_0 = (f \cdot \frac{gd_T}{C_0} \left[\frac{\rho_T(q_{II} + 1)}{\rho} - 1 \right])^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

де d_T - характерний розмір тіла; ρ_T, ρ - відповідно щільність твердого тіла та рідини; q_{II} - питома витрата повітря, віднесена до середнього тиску гідросуміші в піднімальній трубі ерліфта, C_0 - коефіцієнт опору, що враховує характер обтікання тіла й ступінь сферичності, f - коефіцієнт, значення якого, для кулі, приймається рівним $f = \frac{2}{3}$.

При аналізі питання, дуже важливо відзначити, що в рівнянні (4) за швидкість V_0 приймається швидкість падіння тіла, що перебуває на нескінченному видаленні щодо границь суміші. В умовах стиснутого руху тіла ця швидкість буде відмінною і дорівнювати $V_0 = V$ [1];

$$V = V_0 \left(\frac{C_0}{C} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

де C - коефіцієнт опору руху при швидкості V ;
Як показали численні дослідження, проведені А.Н. Зорею, цей коефіцієнт дорівнює [1]:

$$C = \frac{C_0}{m_d^k}, \quad (3)$$

де $m_d = 1 - \frac{d_T^2}{D^2}$ - коефіцієнт живого перетину; (4)

$k \geq 2$ - коефіцієнт, що залежить у загальному випадку від m_d ,
 D – діаметр підйомної труби ерліфта [1].

Для практичних цілей, щоб визначити транспортну швидкість водоповітряної суміші, надто важливо знати величину коефіцієнта опору. Цей коефіцієнт можливо визначити тільки експериментальним шляхом [1]. Для цього, а також для визначення деяких інших параметрів в ДПІ була побудована експериментальна ерліфтна установка [1]. Вугілля й порода, що транспортується в ерліфтній установці характеризуються найрізноманітнішою геометричною формою. Проте, за даними численних вимірів, для розрахунків і аналітичних досліджень їх можна приймати як шматки кулястої форми [1]. В ході експерименту питома витрата повітря q змінювалась шляхом установа різного відносного занурення α , значення якого коливалось від 0,101 до 0,405. Були виготовлені тверді тіла трьох форм (куля, куб, пластина) обсягом $26,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ і $137 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$. Щільності тіл 1300, 1800, 2500, 4500, 6450 та 7800 кг/м³. Кулі діаметром 37 і 62 мм [1].

Проведені експериментальні дослідження дозволяють розрахувати мінімально припустиму швидкість водоповітряної суміші для транспорту твердого в піднімальній трубі ерліфта, яка може бути визначена, як

$$V_{mp} = \frac{4}{\pi D^2} (q_{II} + 1). \quad (5)$$

Коефіцієнт опору руху тіла при мінімальній припустимій транспортній швидкості

$$C_{mp} = \frac{2}{3} \cdot \frac{g \cdot R_T}{V_{mp}^2} \left[\frac{\rho_T (q_{II} + 1)}{\rho} - 1 \right], \quad (6)$$

де R_T – гідравлічний радіус, взятий за характерний розмір тіла.

Дослідження показали, що для кожного тіла існує своя крапка на витратній характеристиці ерліфта, у якій воно перебуває в стані виходу із піднімальної труби (Рис.1). У найбільш низьких крапках видаткової характеристики, як

показано на графіку, перебувають плоскі тіла, у високих - кулясті. При однаковій щільності тіла й стисненні малі тіла транспортуються легше, ніж більші. Чим більше щільність тіла, тим вище по кривій перебуває крапка витання досліджуваного тіла даної форми й розміру.

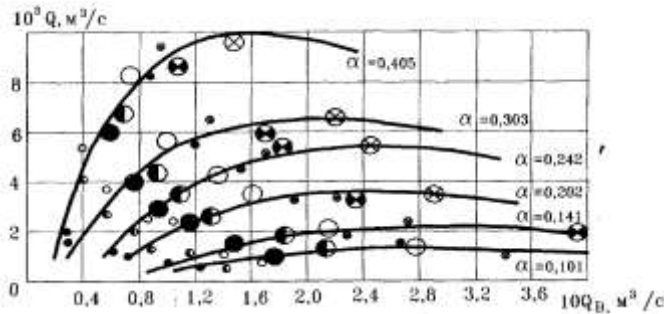


Рисунок 1. На витратних характеристиках ерліфта показані точки, в яких кулі різного об'єму і щільності виходять із труби

Аналогічні характеристики можуть бути отримані також для інших форм твердої фракції. Аналіз цих характеристик дав змогу отримати деякі параметри руху гідросуміші у піднімальній трубі ерліфта та побудувати експериментальні залежності.

На рисунку 2 показані залежності мінімальної припустимої транспортної швидкості від питомої витрати повітря, віднесеної до середнього тиску гідросуміші.

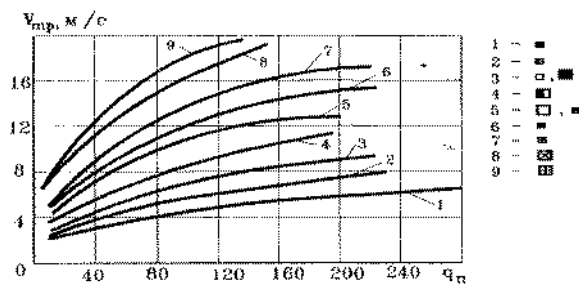


Рисунок 2. Експериментальна залежність $V_{Tr} = f(q_n)$ для шарів

На рисунку 3 показані залежності коефіцієнта опору при мінімально-припустимій транспортній швидкості від q_n для досліджуваних твердих тіл.

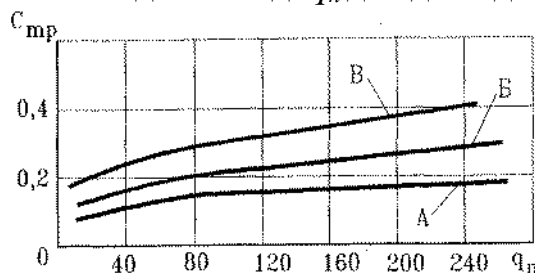


Рисунок 3. Експериментальна залежність $C_{тр} = f(q_n)$ вище "оптимума", де А- шар, Б – куб, В – пластина

Результати експериментальних даних зведені в таблицю 1.

Таблиця 1. Значення коефіцієнта опору руху тіл при мінімально-припустимій транспортній швидкості для різних величин повітряотримання

Тверде тіло	C_{mp}	
	$q_n = 10 \dots 30$	$q_n = 30 \dots 100$
Куля	0,08...0,12	0,12...0,14
Куб	0,12...0,15	0,15...0,2
Пластина	0,15...0,2	0,2...0,3

Необхідну середню швидкість у піднімальній трубі ерліфта для транспорту твердого визначають по рівнянню

$$V_{TP} = K_3 K_K \left(\frac{2}{3} \cdot \frac{g d_T}{K_C C_{mp}} \left[\frac{\rho_T (q_{II} + 1)}{\rho} - 1 \right] \right)^{1/2}, \quad (7)$$

де K_3 – коефіцієнт запасу, $K_3 = 1,1$;

K_K – коефіцієнт, що враховує концентрацію суміші, $K_K = 0,9 \dots 0,95$;

K_C – коефіцієнт, що враховує скрутність;

Як показали проведені дослідження для $m_d = 0,8 \dots 0,9$ $K_C = 1,0 \dots 1,3$; для $m_d = 0,9 \dots 0,95$, $K_C = 1,3 \dots 1,6$; для $m_d = 0,95 \dots 1,0$, $K_C = 1,6 \dots 2,3$ [1].

Висновки та напрямки подальших досліджень. В ході проведених досліджень та експерименту була вирішена важлива практична задача з визначення коефіцієнта опору руху твердого тіла у водоповітряному потоці підйомної труби ерліфта, що дало змогу розрахувати необхідну транспортну швидкість потоку для успішної роботи ерліфтною установки в оптимальному режимі. З метою поширення отриманих даних на труби різного діаметра й на параметри твердих тіл необхідно зробити дослідження з тілами різних розмірів, тобто врахувати скрутність.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Папаяни Ф.А., Козыряцкий Л.Н., Пашенко В.С., Кононенко А.П. / Энциклопедия эрлифтов – Донецк, 1995.– 592 с.
2. Гідромеханізація: навчальний посібник. М.Г. Бойко, В.М. Моргунов, Л.М. Козиряцький, О.В. Федоров. – Донецьк: ДНВЗ «ДонНТУ», 2011. – 554 с.
3. Спеціальні засоби і схеми гідропідйому, водовідливу і очищення шахтних водовідливних ємностей. / Навчальний посібник / Козиряцький Л.М., Моргунов В.М., Яковлєв В.М., Геммерлінг О.А. – Донецьк: ДонНТУ, 2012. – 133 с.

Стаття надійшла до редакції

Л.Н. Козыряцкий, Р.И. Божко, А.В. Мазнев. Донецкий национальный технический университет

Исследование движения твердой фракции в вертикальном водовоздушном потоке подъемной трубы эрлифта

В работе установлены основные закономерности движения твердого тела водовоздушном потоке подъемной трубы эрлифта, проанализированы теоретические и экспериментальные данные, определены значения коэффициента сопротивления твердого тела.

Ключевые слова: эрлифт, подъемная труба, твердая фракция, исследования, гидравлическая крупность, коэффициент сопротивления, транспортная скорость, экспериментальные зависимости.

L. Kozyryatsky, R. Bozhko, O. Maznev. Donetsk National Technical University

Study of the movement the solids in the airlift pipe.

In this paper, the basic regularities of rigid body motion of the riser pipe water-air flow airlift, analyzed the experimental data, the values of the coefficient of resistance of the solids.

Keywords: airlift, lift pipe, hydraulic size, drag coefficient, the transport speed.