

УДК 621.484:621.59

ВИКОРИСТАННЯ ЄМНОСТІ ВСМОКТУЮЧОГО ТРУБОПРОВОДУ ДЛЯ ЗАПУСКУ ШАХТНИХ ВІДЦЕНТРОВАНИХ НАСОСІВ

Вознесенський В.В., доц., к.т.н.; Следь М.М., доц., к.т.н.; Ганза А.А.;
Калиниченко В.В.; Немцев Е.М.
Красноармійський індустріальний інститут ДонНТУ

Постановка проблеми. Досвід експлуатації автоматизованих водовідливних установок, що розташовані вище рівня води, що перекачується, показав, що найбільш вузьким місцем є існуючі системи пуску відцентрованих насосів, що пов'язано з наявністю засувок, що керуються, та необхідністю заповнення всмоктуючого трубопроводу та насосів водою.

Аналіз останніх досліджень. Необхідну ємність для автоматизованого пуску насосів можна отримати, встановивши спеціальний бак, що акумулює воду в необхідному об'ємі, або використовуючи ємність всмоктуючого трубопроводу. Теоретичні основи та параметри бакових акумуляторів розроблені в роботі доц. А.Г. Боруменського та інш. [1]. Застосування спеціального бака ускладнює улаштування насосної установки, обмежує область її застосування через великі габарити та вагу.

Зазначений недолік виключається при використанні ємності всмоктуючого трубопроводу для створення необхідного вакуума та частини об'єму нагнітаючого трубопроводу для транспортування в нього повітря із всмоктуючого трубопроводу (Рис. 1).

Якщо ємність всмоктуючого трубопроводу не забезпечує необхідний вакуум, застосовується схема із зовнішньою циркуляцією води (Рис. 2). Повітря з всмоктуючого трубопроводу видаляється циркуляцією води за наступною схемою: спадаюча дільниця всмоктуючого трубопроводу – насос – напірний трубопровід – обводна трубка та аерація води при наступному попаданні в насос.

При аналітичному дослідженні пускового періоду заповнення водою всмоктуючого трубопроводу інерційним напором нехтуємо, зважаючи на те, що його величина у порівнянні з іншими досить незначна. Внаслідок великої поверхні охолодження та малої швидкості зміни тиску в об'ємі можна вважати, що зміна стану повітря проходить ізотермічно.

Виходячи з зазначених умов встановлені залежності, що визначають необхідну ємність:

а) низпадаючої дільниці всмоктуючого трубопроводу (Рис. 1):

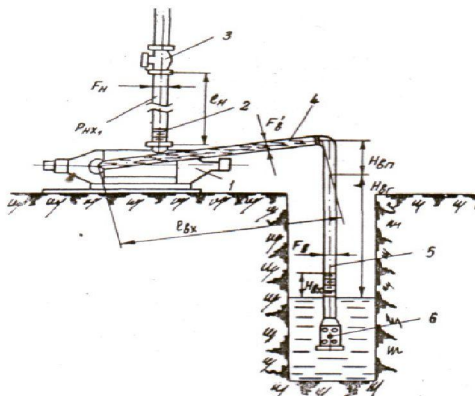


Рис. 1. Схема пуску відцентрованого насоса з використанням ємності всмоктуючого трубопроводу:

1 – двигун; 2 – насос; 3, 6 – зворотні клапани; 4 – вільна ємність у нагнітальному трубопроводі; 5 – ємність низпадаючої ділянки всмоктуючого трубопроводу; 7 – вертикальна ділянка всмоктуючого трубопроводу; 8 – захисна сітка

$$F_{в}^{\prime} l_{вх} = \frac{[(H_{а} + H_{вг} + H_{вп}) \cdot H_{вх} - H_{вх}^2] \cdot F_{в}}{\cos\beta(H_{а} - H_{вх})}, \quad (1)$$

де $F_{в}^{\prime}$, $F_{в}$ – площа поперекового перерізу всмоктуючого трубопроводу, м

$H_{а}$ – напір стовпа води, що відповідає атмосферному тиску, м;

$H_{вг}$ – гідезична висота всмоктування, м;

$H_{вп}$ – перевищення низпадаючої ділянки всмоктуючого трубопроводу над віссю насоса, м;

$H_{вх}$ – поточне значення висоти заповнення водою всмоктуючого трубопроводу, м;

$l_{вх}$ – поточне значення довжини заповнення водою низходячої частини трубопроводу, м;

β – кут нахилу вертикальної ділянки, град.

б) ділянки нагнітаючого трубопроводу, необхідного для розміщення води та повітря із всмоктуючого трубопроводу (Рис. 1):

$$F_n \cdot \ell_n = \frac{F_b \cdot (H_{вг} + H_{вп})}{\cos \beta \cdot \left(1 - \frac{H_a}{H_{нх}}\right)} \cdot \left[\frac{H_a}{[H_a - (H_{вп} + H_{вг})]} + \frac{H_a}{H_{вх}} + \frac{1}{q} \right], \quad (2)$$

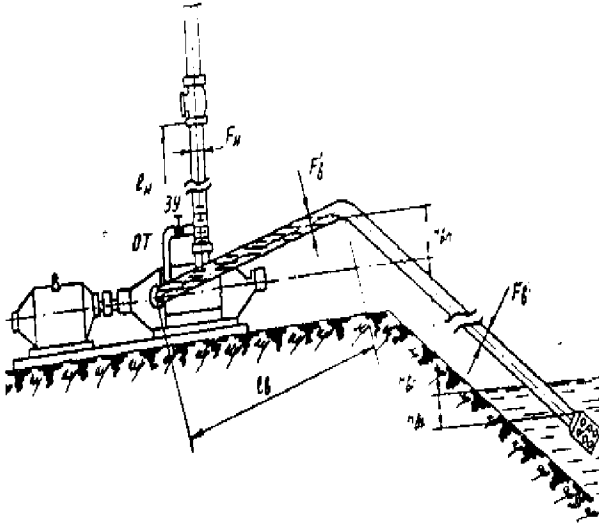


Рис. 2 Схема пуску відцентрованого насоса за рахунок зовнішньої циркуляції води
 ОТ – обводна трубка; ЗП – запорний пристрій

де r_g – абсолютний тиск, що відповідає геодезичній висоті нагнітання, Па;

$$q = \frac{Q_{\text{повітря}}}{Q_{\text{води}}} - \text{відносна об'ємна витрата повітря};$$

F_n – площа поперечного перерізу вільної ємності в нагнітаючому трубопроводі, m^2 ;

ℓ_n – довжина вільної ємності в нагнітаючому трубопроводі, м;

$H_{нх}$ – поточне значення висоти заповнення водою вільної ємності в нагнітаючому трубопроводі, м.

3) дільниці нагнітаючого трубопроводу для розміщення повітря, що евакуюється з лінії всмоктування при зовнішній рециркуляції води (Рис. 2);

$$F_H \ell_H = \frac{F_B (H_{вн} + H_{вг}) H_a + F_B \ell_B}{H_{нх} \cdot \cos \beta \left(1 - \frac{H_a}{H_{нх}} \right)}, \quad (3)$$

Як приклад, можна розглянути водовідливну установку, що обладнано насосом ЦНС 50-60, робочий режим якого $Q_D = 50 \text{ м}^3/\text{год}$, $H = 60 \text{ м}$ та $H_B = 4 \text{ м}$. Усмоктуючий та нагнітаючий трубопроводи мають однаковий діаметр, який дорівнює 100 мм. Довжина низпадаючої ділянки 8 м [1], а для утворення необхідної вільної ємності у всмоктуючому трубопроводі зворотній клапан необхідно перенести на відстань 40 м. Якщо неможна забезпечити ці розміри, потрібно відповідно збільшити діаметри, що скоротить довжину вільних ємностей

$$\ell'_H = \ell_H \left(\frac{d_H}{d'_H} \right)^2, \quad (4)$$

При довгому похилому всмоктуючому трубопроводі, коли неможна переносити зворотній клапан, застосовується схема з евакуацією повітря потоком рециркулюючої води. У даному випадку довжину низпадаючої ділянки приймаємо такою, що дорівнює 2–3 м, а довжина вільної ємності в нагнітаючому трубопроводі визначається з виразу (3) і складає лише 6–8 м. Однак при цьому треба керувати запірним пристроєм на трубопроводі рециркуляції.

Встановлені залежності, що визначають тривалість процесу заповнення водою всмоктуючої лінії насоса. При цьому виходили з лінеаризації напірної характеристики насоса у межах робочої зони, а також враховували залежність зміни її нахилу при підсосі повітря, встановлену А.Г. Харитоновим:

$$H = H_0 \left[K_\phi - (1-q) \frac{K}{Q_H} Q \right] (1-q)^2, \quad (5)$$

$$\left(K = \frac{K_\phi - K_k}{V_k}, \quad K_\phi = \frac{H_\phi}{H_0}, \quad K_k = \frac{H'_0}{H_0}, \quad V_k = \frac{Q_k}{Q_H} \right),$$

де H_ϕ – фіктивний напір, м;

H_0 – напір, що розвиває насос при закритій засувці, м;

Q_H – номінальна продуктивність, $\text{м}^3/\text{год}$;

H'_0 , Q_k – напір та подача, що відповідають моменту переходу насоса в режим кавітації.

Для насосів тихохідної та нормальної швидкохідності ($n_3 = 50\text{--}90$) при числі обертів 1460:

$$Q_k = -\frac{18}{a_b} + \sqrt{\left(\frac{18}{a_b}\right)^2 - \frac{H_b - \frac{P_a - P_{\pi}}{pg}}{a_b}}, \quad (6)$$

де a_b – опір всмоктуючого трубопроводу,

P_{π} – тиск насиченої пари води при даній температурі.

Тривалість пуску при заповненні всмоктуючого трубопроводу водою за рахунок ємності нисходячої ділянки з відкритою засувкою на нагнітаючому трубопроводі розраховуємо за формулою:

$$t = \int_0^{\ell_b} \frac{F_b K H_0 (1-q)^3 (F_H \cdot \ell_H - F_B \cdot \ell_{BX}) d\ell_{BX}}{Q_H \left\{ F_H \cdot \ell_H \left[H_0 K_{\phi} (1-q)^2 - H_a \right] - H_0 K_{\phi} F_B (1-q)^2 \ell_{BX} \right\}} +$$

$$+ \int_0^{H_b} \frac{K H_a^2 F_B \left(\frac{1}{q} - q \right) \left(F_H \ell_H - \frac{F_B \cdot H_{BX}}{q \cdot \cos\beta} \right) \cdot dH_{BX}}{\cos\beta (H_a - H_{BX})^2 \left[F_H \ell_H \left(K_{\phi} - \frac{H_a}{(1-q)^2 H_0} \right) - \left(\frac{F_H H_a}{(1-q)^2 \cos\beta} + \frac{K_{\phi} F_B H_{BX}}{q \cdot \cos\beta} \right) \right]} Q_H$$

, (7)

Якщо пуск проходить при закритій засувці з наступним відкриттям та підтримкою робочого режиму, час заповнення (сек):

$$t = \int_0^{\ell_b} \frac{(1-q)^3 K \cdot H_0}{\left[H_0 K_{\phi} (1-q)^2 - H_p \right] Q_p} \cdot \left[F'_B \ell'_B + F_H (\ell_H - \ell_B) \right], \quad (8)$$

При видаленні повітря зовнішньою циркуляцією води

$$t = \int_0^{H_b} \frac{z_2 dH_{BX}}{(H_a - H_{BX})^2 (z - z_1 H_{BX})}, \quad (9)$$

де

$$z = \frac{Q_H q}{(1-q)K} \left[K_{\phi} - \frac{H_a}{(1-q)^2 \cdot H_0} \right], \quad (10)$$

$$z_1 = \left[\frac{Q_H H_a F_B \cdot q}{(1-q)^3 H_0 K F_H \ell_H \cdot \cos\beta} - \frac{Q_{02}}{H_{02} - H_{01}} \left(1 + \frac{H_a F_B}{F_H \ell_H \cos\beta} \right) \right], \quad (11)$$

$$z_2 = \frac{F_B F_H H_a^2}{q F'_B \cos\beta}, \quad (12)$$

де H_{01} – величина напору у вільній ємності нагнітального трубопроводу, м,

H_{02} – величина напору у низпадаючій дільниці всмоктуючого трубопроводу, м,

Q_{02} – подача через обвідну трубку.

Підраховано, що для прийнятої водовідливної установки час відповідно дорівнює 21, 28 та 15 с.

Висновки. З аналізу існуючих способів заповнення водою насосів витікає, що найбільш повно задовольняє вимогам системи пуску з використанням ємності низпадаючої частини всмоктуючого трубопроводу для створення необхідного вакууму та частини об'єму нагнітаючого трубопроводу для видалення в нього повітря з всмоктуючого трубопроводу, який не потребує установки прийомного клапана при вході або застосування бакових акумуляторів. Встановлено можливість заповнення водою насосної установки при довгих всмоктуючих трубопроводах за рахунок зовнішньої рециркуляції води, та приведені залежності, що дозволяють розрахувати параметри рециркуляційного потоку та необхідної вільної ємності в нагнітаючому трубопроводі. Тривалість пускового періоду, що визначається часом заповнення водою насоса, складає 25–35 с, що допускає застосування існуючої апаратури автоматизації.

Література:

1. К.С. Борисенко, А.Г. Боруменский, В.С. Дулин, Н.М. Русанов. Горная механика, Гортехиздат, 1986г.
2. Гейер В.Г. Технические требования к автоматизированным стационарным шахтным водоотливным установкам. Автоматизация шахтных водоотливных установок., 1976г.

УДК 622.276.52:532.529.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ СМЕСИ В ПОДЪЕМНОЙ ТРУБЕ ЭРЛИФТА

Вознесенский В.В., доц., к.т.н.; Надеев Е.И.; Ганза А.И.;
Калиниченко В.В.; Немцев Э.Н.
Красноармійський індустріальний інститут ДонНТУ

Постановка проблеми. Расчет кинематической вязкости ν и числа Рейнольдса Re для потока газожидкостной смеси в вертикальной трубе