

ТРИЛІСР Є.А., НЕМЦЕВ Е.М., ТРУХАНОВ С.В. (КІП ДонНТУ)

### МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЦИРКУЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ СТРУМИННОГО ТА ЛОПАТЕВОГО НАСОСІВ

*Наведено методику розрахунку циркуляційної установки спільної роботи струминного та лопатевого насоса.*

Спільне застосування струминних та лопатевих насосів дозволяє створити широкий спектр автономних установок різноманітного призначення, що суттєво розширює можливості насосів водовідливних установок, зокрема, – підвищити допустиму вакууметричну висоту всмоктування, збільшивши кавітаційний запас.

Параметри установок зі струминними та лопатевими насосами залежать від їх гідравлічних характеристик. Гідравлічні характеристики насосів, а також трубопроводів, що їх з'єднують, а також інших конструктивних елементів гідросистеми описуються нелінійними рівняннями. Розв'язання системи рівнянь, що описують гідравлічні характеристики установок, можна отримати чисельними методами з використанням електронно-обчислювальних машин. Крім того, розв'язання суттєво ускладнюється необхідністю урахування можливості виникнення кавітації в струминних насосах. Це вимагає в процесі розв'язання замість рівнянь нормальних гідравлічних характеристик струминних насосів використовувати їх особисті кавітаційні характеристики. Для спрощення розрахунків установок можна використати нормальні та особисті гідравлічні характеристики струминних насосів.

Розглянемо схему спільної роботи струминного та відцентрового насосів (рис. 1), де покажемо розподіл тисків та витрат рідини.

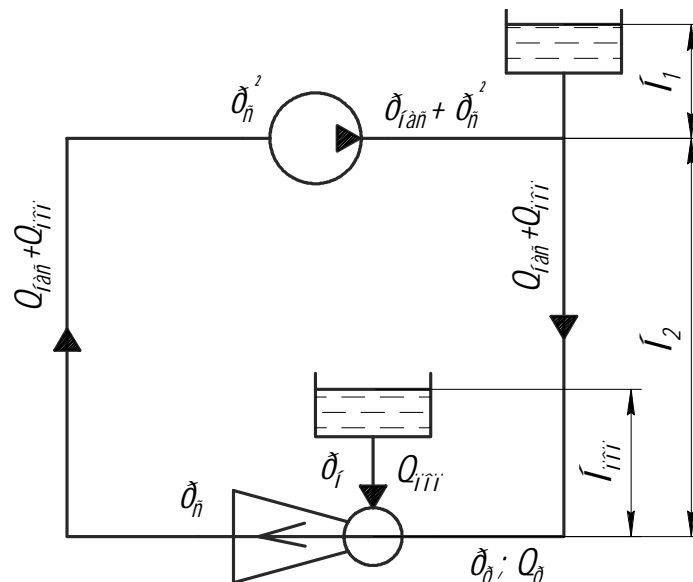


Рис. 1 – Схема спільної роботи струминного та відцентрового насосів

Абсолютний тиск на виході зі струминного насоса можна розрахувати за формулою, МПа:

$$p_c = p_2 + p'_c + 0,1, \quad (1)$$

де  $p'_c$  – надлишковий тиск (підпор) на всмоктуванні відцентрованого насоса, Па,  
 $p_2$  – надлишковий тиск, що відповідає висоті подачі (відстань від осі струминного насоса до осі відцентрованого насоса), Па.

$$p_2 = \rho g H_2, \quad (2)$$

де  $\rho$  – щільність води, що перекачується, кг/м<sup>3</sup>,  
 $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>,

На виході з відцентрованого насоса створюється надлишковий тиск, який складає

$$p_1 = p'_c + p_{\text{нас}}, \quad (3)$$

де  $p_{\text{нас}}$  – надлишковий тиск, що створюється насосом,

З іншого боку, тиск  $p_1$  відповідає висоті подачі рідини на поверхню, МПа:

$$p_1 = \rho g H_1, \quad (4)$$

Абсолютний робочий тиск біля сопла струминного насоса, МПа:

$$p_p = p_{\text{нас}} + (p_2 + p'_c + 0,1) = p_{\text{нас}} + p_c, \quad (5)$$

Абсолютний тиск на всмоктуванні струминного насоса можна розрахувати за формулою:

$$p_n = 0,1 \pm \rho g H_n, \quad (6)$$

де  $H_n$  – рівень рідини по відношенню до осі струминного насоса, м

Безрозмірне відношення тисків в струминному насосі визначають за формулою:

$$\frac{\Delta p_c}{\Delta p_p} = \frac{p_c - p_n}{(p_{\text{нас}} + p_c) - p_n}, \quad (7)$$

Розподіл витрат в установці по рис. 1 також має свої властивості. Подача лопатевого насоса  $Q_{\text{нас}}$  не повністю потрапляє в робоче сопло струминного насоса, а розділяється на два потоки: частина витрати ( $Q_{\text{пол}}$ ) потрапляє в бак, а інша частина ( $Q_p$ ) потрапляє в робоче сопло. В даному випадку корисна витрата установки:

$$Q_{\text{кор}} = u Q_p, \quad (8)$$

де  $Q_p$  – витрата робочої рідини, м<sup>3</sup>/год,

$u$  – коефіцієнт підсосу, від його значення залежать конструктивні та робочі параметри струминного насоса і, що найголовніше, гідравлічний коефіцієнт корисної дії (ККД) установки.

При відомому безрозмірному відношенню тисків в струминному насосі за формулою (7) та по графіку гідравлічних характеристик струминного насоса (рис. 2) визначають коефіцієнт підсосу  $u$ .

По формулі (8) можна визначити витрату робочої рідини, м<sup>3</sup>/год:  $Q_p = Q_{\text{кор}} / u$ .

Враховуючи, що  $Q_{\text{нас}} = Q_p - Q_{\text{кор}}$ , можна записати:

$$Q_{\text{нас}} = Q_p + u Q_p = (1 + u) Q_p, \quad (9)$$

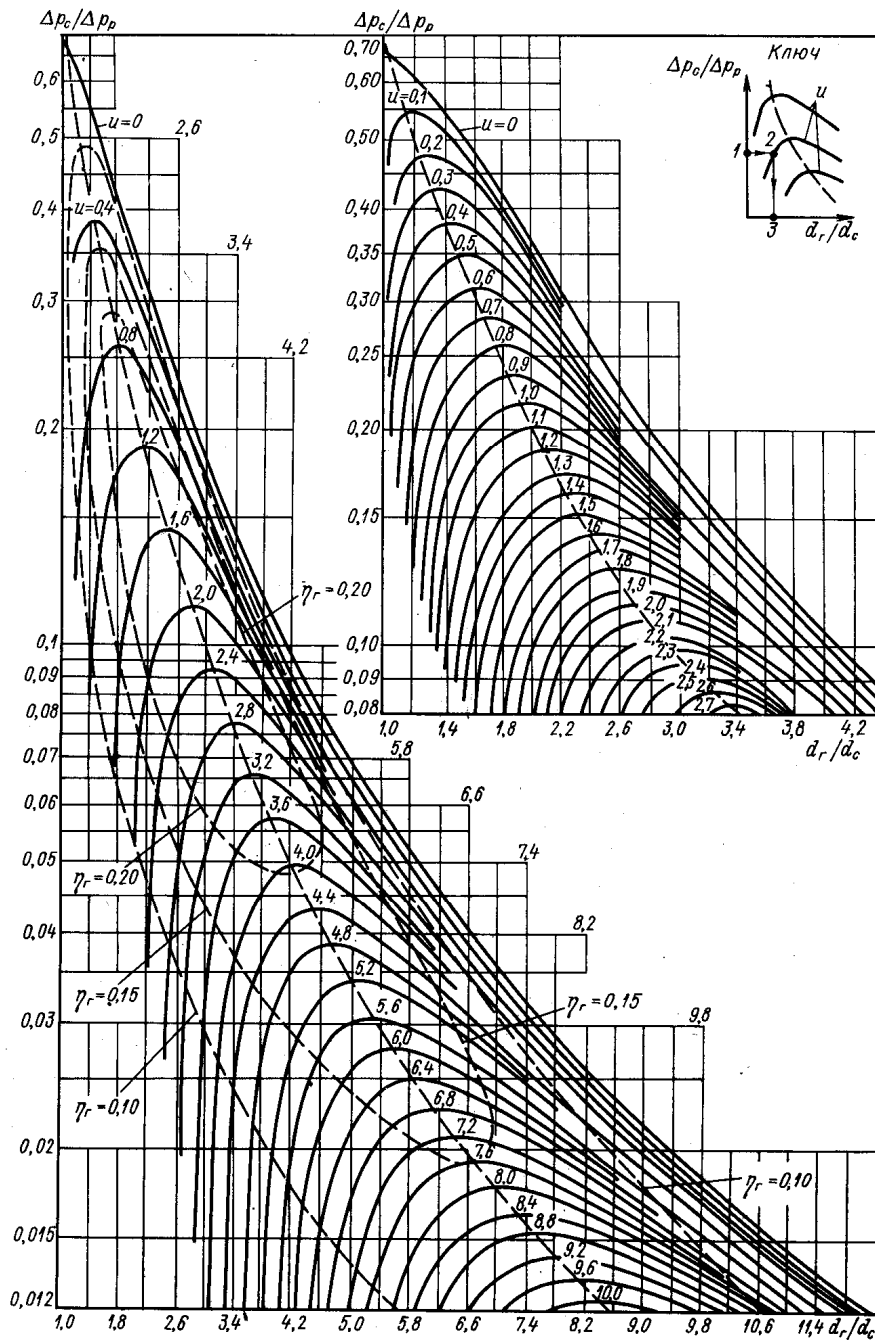


Рис. 2 – Гідравлічні характеристики струминного насоса

Знаходять відношення корисної витрати  $Q_{\text{кор}}$  до витрати насоса  $Q_{\text{нас}}$ :

$$\frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{нас}}} = \frac{u}{1+u}, \quad (10)$$

Надлишковий корисний тиск визначають за формулою:

$$p_{\text{кор}} = p_{\text{нас}} + (p_c - p_n), \quad (11)$$

Знаходимо відношення  $p_{\text{кор}}$  до  $p_{\text{нас}}$ :

$$\frac{p_{\text{кор}}}{p_{\text{нас}}} = 1 + \frac{(p_c - p_n)}{p_{\text{нас}}}, \quad (12)$$

Цей вираз показує, що збільшення корисного напору отримано за рахунок зменшення корисної подачі.

Вираз для ККД установок можна записати у вигляді:

$$z_{\text{уст}} = \frac{N_{\text{кор}}}{N_{\text{нас}}} z_{\text{нас}}, \quad (13)$$

де  $N_{\text{кор}}$ ,  $N_{\text{нас}}$  – відповідно корисна потужність установки та відцентрованого насоса,

$\eta_{\text{нас}}$  – ККД відцентрованого насосного агрегату.

Попередній вираз представимо наступним чином:

$$z_{\text{уст}} = \frac{c g H_{\text{кор}} Q_{\text{кор}}}{c g H_{\text{нас}} Q_{\text{нас}}} z_{\text{нас}} = \frac{Q_{\text{кор}} p_{\text{кор}}}{Q_{\text{нас}} p_{\text{нас}}} z_{\text{нас}} = z_{\text{г}} z_{\text{нас}}, \quad (14)$$

де  $\eta_{\text{г}}$  – коефіцієнт зниження ККД установки, що працює з корисною витратою  $Q_{\text{кор}}$  і корисним тиском  $p_{\text{кор}}$  у порівнянні з ККД відцентрованого насосного агрегату, що працює з витратою  $Q_{\text{нас}}$  і тиском  $p_{\text{нас}}$ . Величина  $\eta_{\text{г}}$  має зміст гідравлічного ККД установки. Таким чином, гідравлічний ККД установки визначається:

$$z_{\text{г}} = \frac{Q_{\text{кор}} p_{\text{кор}}}{Q_{\text{нас}} p_{\text{нас}}}, \quad (15)$$

Для забезпечення оптимальної роботи установки необхідно, щоб струминний насос працював в режимі, що відповідає максимальному ККД. Цій вимозі на його характеристиці (рис. 2) відповідають точки, що розташовані на лінії оптимальних режимів (штрихова лінія). Ця лінія перетинає криві  $u = \text{const}$  в точках, що відповідають певним значенням  $\Delta p_c / \Delta p_p$  і  $d_r / d_c$ . Кожна точка перетину кривої оптимальних режимів з кривою  $u$  в координатному полі  $\Delta p_c / \Delta p_p - d_r / d_c$  відповідає такому значенню коефіцієнту підсосу  $u$ , при якому забезпечується максимальний ККД струминного насоса, що має значення  $\Delta p_c / \Delta p_p$  і  $d_r / d_c$  (тут  $d_r$  – діаметр камери змішування, м,  $d_c$  – вихідний діаметр сопла струминного насоса, м).

Дана методика дозволяє удосконалити існуючі схеми роботи водовідливних установок, підвищивши їх міжремонтні періоди, забезпечити безкавітаційні режими роботи і може бути використана для реальних умов застосування насосних агрегатів гірничих підприємств.

Для прикладу розглянемо гідравлічну схему головного водовідливу шахти ім. А.Г. Димитрова (рис. 3), яка включає прийомний колодязь, три струминних насоса, що підкачують, три основних секційних агрегати серії ЦНСШ 300x650 і два нагнітальних трубопроводи (один є резервним) зовнішнім діаметром 273 мм. Струминний насос, що підкачує, насосного агрегату №1 занурений в перший приймальний колодязь, а струминні насоси агрегатів №2 та №3 занурені в другий приймальний колодязь.

Проводячи розрахунки за формулами (1) – (15) маємо наступні значення:

абсолютний тиск на виході зі струминного насоса  $p_c = 0,14905$  МПа; абсолютний робочий тиск біля сопла струминного насоса  $p_p = 6,192$  МПа; абсолютний тиск на всмоктуванні струминного насоса  $p_n = 0,0098$  МПа витрата робочої рідини:  $Q_p = 47$  м<sup>3</sup>/год; коефіцієнт підсосу  $u = 6,8$ , гідравлічний ККД установки  $\eta_r = 0,892$ ; загальний ККД установки  $\eta_{\text{уст}} = 0,624$ ; відношення  $d_r/d_c = 6,1$  – за цим значенням можна визначити геометричні параметри струминного насоса.

Обмежень по режиму кавітації в нас не буде, тому що гідроструминний насос в будь якому режимі буде знаходитися нижче рівня води у водозбірнику (мінімум на 1 м).

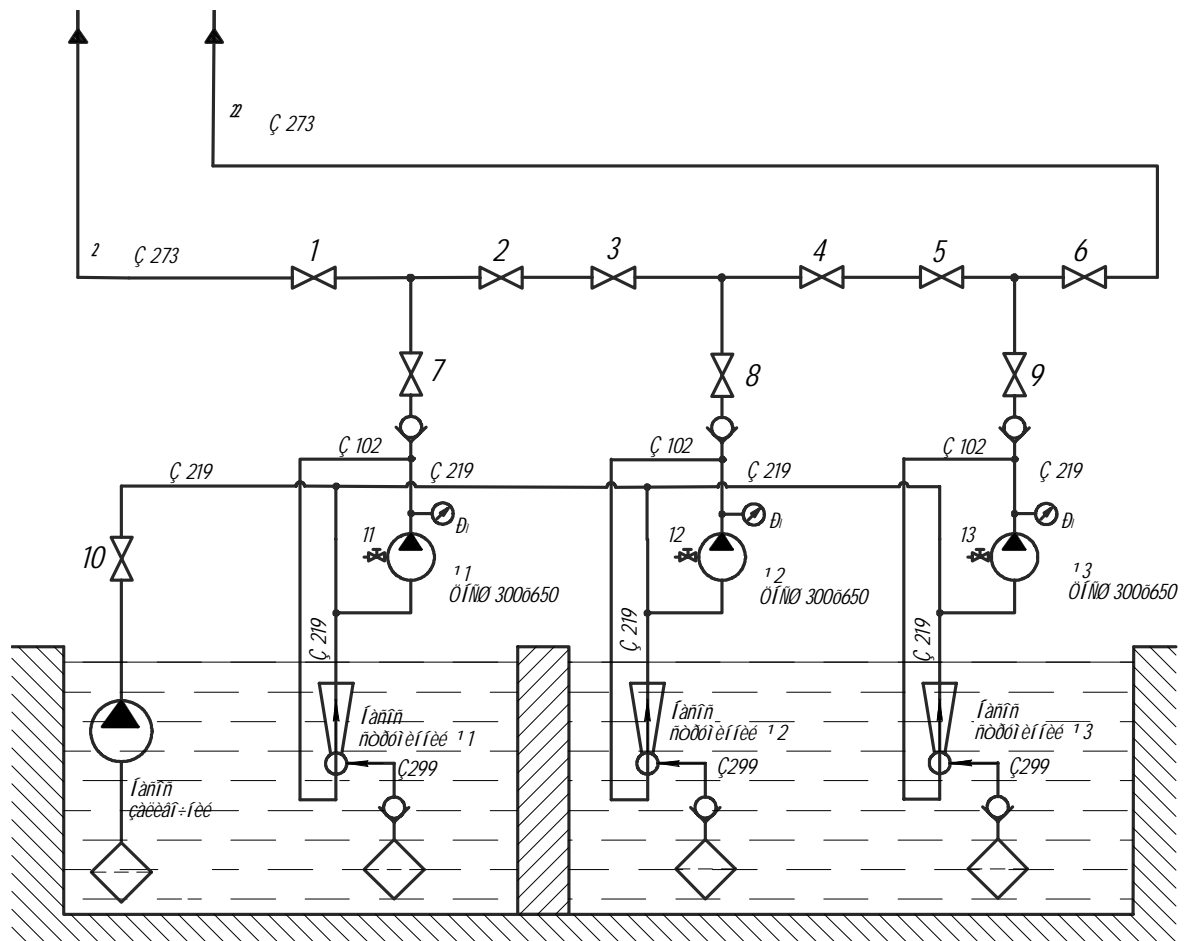


Рис. 3 – Розроблена схема

При включенні в роботу насосний агрегат №1, робота системи полягає в наступному: пуск починається з заповнення водою всмоктувальних трубопроводів за допомогою заливочного насоса після відкриття засувки 10. При відкритті цієї засувки вода із заливочного насоса трубопроводом надходить у всмоктувальні трубопроводи основних насосів. Для запобігання витоків води зі всмоктуючого трубопроводу, останні обладнуються прийомним пристроєм зі зворотним клапаном. Випуск повітря, що накопичився у всмоктуючому трубопроводі та насосі, здійснюється через відкритий вентиль 11, який встановлено у всмоктувальній кришці насоса. Через 2-3 хвилини, які необхідні для видалення повітря, через вентиль 11 почне йти сталим потоком вода, після чого він закривається і здійснюється пуск основного агрегату №1. Відкривається засувка 7 на напірному трубопроводі. Вода, розділяючись на два потоки починає

надходити в напірний трубопровід і струминний насос №1 – маємо часткову циркуляцію води, продовжуючи відкривати засувку 7 збільшуємо витрату робочої води для струминного насосу №1 тим самим виводячи його на робочий режим, що забезпечує безкавітаційну роботу основного насосного агрегату. Надалі втручання в роботу насосних агрегатів не потрібно. Машиністу насосної установки залишається тільки стежити за показаннями манометрів і контролювати роботу насосів.

При зниженні рівня води в прийомному колодязі до 4 метрів спрацьовує електродний датчик апаратури автоматизації водовідливу і лунає звуковий сигнал, який попереджає про необхідність закриття засувки 7 і вимкнення насосного агрегату №1.

Простим відключенням привода насоса від мережі зупиняти насос не можна, тому що в цьому випадку в нагнітальному трубопроводі водовідливної установки виникає гідравлічний удар, при якому тиск може збільшуватися у 1,5 і більше разів від робочого. Хоча міцність трубопроводу і його запірної арматури розраховані на гідравлічні удари, виконувати такий вид зупинки небажано. При таких зупинках від динамічних навантажень зношуються зворотні клапана, встановлені на виході з насосів, а також накопичуються усталостні напруження в матеріалі стінок трубопроводів. Ідеальним засобом було є встановлення засувок з гідравлічним або електричним приводом, що могло б стати передумовою повної автоматизація водовідливу.

#### Література

1. Лямаев Б.Ф. Гидроструйные насосы и установки. Л.: Машиностроение, 1988, 256 с.
2. Попов В.М. Водоотливные установки: справочное пособие М., Недра 1990, 254 с.
3. Гейер В.Г., Тимошенко Г.М. Шахтные вентиляторные и водоотливные установки. М., Недра, 1987, 270 с.