



**Міністерство освіти і науки України**

**ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет енергетики, робототехніки та  
комп'ютерних технологій**

**Кафедра електропостачання та  
енергетичного менеджменту**

**О. М. Мороз, А. І. Серeda**

**Методичні вказівки до виконання  
розрахунково-графічного завдання  
«Розрахунок насосної установки  
з консольним насосом»**

**для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної  
та заочної форм навчання  
спеціальності**

**141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка**

**Харків  
2023**

Міністерство освіти і науки України

ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет енергетики, робототехніки та  
комп'ютерних технологій

Кафедра електропостачання та енергетичного менеджменту

О. М. Мороз, А. І. Серeda

Методичні вказівки до виконання  
розрахунково-графічного завдання  
«Розрахунок насосної установки  
з консольним насосом»

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та  
заочної форм навчання  
спеціальності

141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Затверджено  
рішенням науково-методичної ради  
факультету енергетики,  
робототехніки та  
комп'ютерних технологій  
Протокол № 3  
від 22 лютого 2023 року

**Харків**  
**2023**

УДК 621.221(072)

М-80

Схвалено на засіданні кафедри  
електропостачання та енергетичного менеджменту  
Протокол №7 від 8.02.2023 р.

**Рецензенти:**

**О. В. Богомолів**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв ДБТУ.

**Ю. М. Хандола**, канд. техн. наук, зав. кафедри електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та електротехніки ДБТУ.

М-80 Гідравліка: методичні вказівки до виконання розрахунково-графічного завдання «Розрахунок насосної установки з консольним насосом» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / О. М. Мороз, А. І. Серeda / - Електрон. дані. – Х.: ДБТУ, 2023. – 44 с.

Методичні вказівки включають загальні положення, варіанти завдань, приклад розрахунку РГЗ, додатки з довідниковими даними та список використаних джерел. Виконання РГЗ допоможе майбутнім фахівцям оволодіти основами розрахунку насосної установки та вибору обладнання до неї.

Видання призначено для здобувачів технічних спеціальностей закладів вищої освіти.

**УДК 621.221(072)**

**Відповідальний за випуск: О. О. Мірошник**, д-р техн. наук, професор

© Мороз О.М.,  
Серeda А.І., 2023.  
© ДБТУ, 2023

## ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Насосною установкою (НУ) називається насосний агрегат з комплектуючим обладнанням, яке монтується по певній схемі для забезпечення роботи насоса. Схема насосної установки, в якості прикладу, показана на рис. 1.

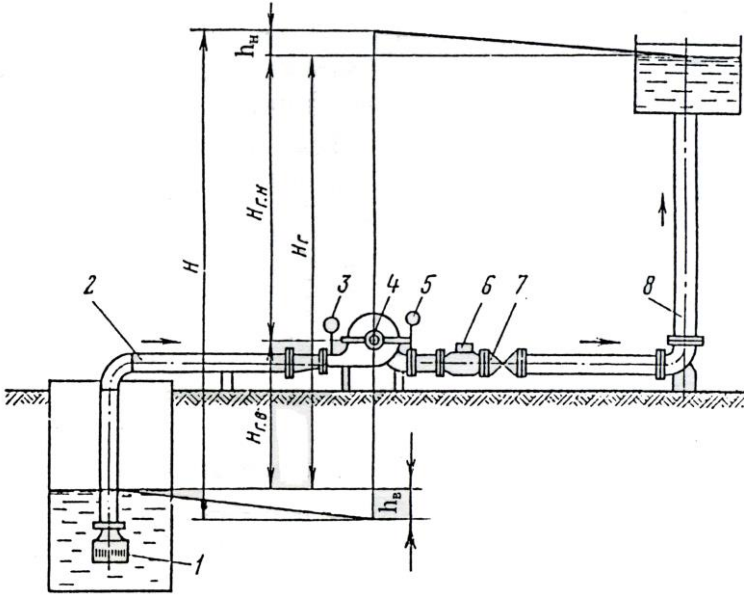


Рисунок 1 – Схема насосної установки

1 – приймальна сітка зі зворотним клапаном; 2 – всмоктувальний трубопровід; 3 – вакуумметр; 4 – насос; 5 – манометр; 6 – зворотний клапан; 7 – засувка; 8 – напірний трубопровід.

При розрахунках насосної установки найбільш важливими є такі задачі: визначення необхідного напору насоса  $H$ , потужності електричного двигуна для приводу насоса  $N$  та перевірка насосу на відсутність кавітації.

Необхідний напір насоса визначається за формулою

$$H = H_{Г} + h_{w} \quad (1)$$

де  $H_{Г}$  – геодезичний напір або висота підймання рідини, м;

$h_{w}$  – втрати напору на подолання гідравлічного опору в трубопроводах насосної установки, м.

Геодезичний напір визначається

$$H_{\Gamma} = \nabla P_{BB} - \nabla P_{HB} \quad (2)$$

де  $\nabla P_{BB}$  – відмітка рівня верхнього басейну, м;

$\nabla P_{HB}$  – відмітка рівня нижнього басейну, м;

Втрати напору в трубопроводах НУ визначаються як сума втрат напору у всмоктувальному та нагнітальному трубопроводах (відповідно  $h_{\epsilon}$  та  $h_{\eta}$ )

$$h_w = h_{\epsilon} + h_{\eta} \quad (3)$$

Розрахунок втрат напору у всмоктувальному трубопроводі проводиться за допомогою формул для розрахунку коротких трубопроводів. Втрати напору в місцевих опорах (приймальна сітка зі зворотнім клапаном, повороти, засувки і т.п.) визначаються за формулою Вейсбаха

$$h_m = \xi_m \frac{V^2}{2g} \quad (4)$$

де  $\xi_m$  – коефіцієнт опору місцевого опору ( Д.1.);

$V = 1,27Q / d^2$  – швидкість руху рідини у всмоктувальному трубопроводі, м/с;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

Втрати напору по довжині всмоктувального трубопроводу визначаються за формулою Дарсі-Вейсбаха

$$h_o = \lambda \frac{l}{d} \frac{V^2}{2g} \quad (5)$$

де  $l$  – довжина трубопроводу, м;

$d$  – діаметр трубопроводу, м;

$V$  – швидкість руху рідини, м/с;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$\lambda$  – коефіцієнт гідравлічного опору (коефіцієнт Дарсі).

Коефіцієнт Дарсі може визначатися за різними формулами в залежності від числа Рейнольдса. За рекомендованими швидкостями руху води у всмоктувальному трубопроводі (Д.2.) доцільно визначати коефіцієнт Дарсі за формулою Альтшуля

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{\Delta e}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} \quad (6)$$

де  $\Delta e$  – еквівалентна шорсткість внутрішньої поверхні трубопроводу, мм (Д.3);

$d$  – діаметр трубопроводу, мм;

$Re$  – число Рейнольдса.

$$Re = \frac{Vd}{\nu} \quad (7)$$

де  $\nu$  – кінематична в'язкість рідини, м<sup>2</sup>/с (Д.4).

Загальні втрати напору у всмоктувальному трубопроводі визначаються як сума втрат в місцевих опорах та по довжині

$$h_g = \sum_{i=1}^n h_{m_i} + h_d \quad (8)$$

Розрахунок втрат напору по довжині в нагнітальному трубопроводі проводиться за формулами розрахунку довгих трубопроводів

$$h = \theta_2 \frac{L}{K^2} Q^2 \quad (9)$$

де  $\theta_2$  – коефіцієнт, який враховує ступінь турбулентності потоку (Д.5);

$L$  – довжина нагнітального трубопроводу, м;

$K$  – витратна характеристика або модуль витрат, л/с (Д.6);

$Q$  – подача насоса, л/с.

Втрати напору в місцевих опорах нагнітального трубопроводу враховуються збільшенням втрат по довжині на 5–10%.

Діаметри трубопроводів визначаються за заданою витратою та рекомендованими середніми швидкостями руху води в трубопроводах насосної станції (Д.2).

$$d = 1,13 \sqrt{Q/V_p} \quad (10)$$

Стандартні діаметри трубопроводів приймаються з таблиці (Д.6).

Після визначення необхідного напору насоса на зведений графік полів насосів (рис. 2) наноситься розрахункова точка з координатами  $Q$  та  $H$  і вибирається насос, на поле якого попала розрахункова точка.

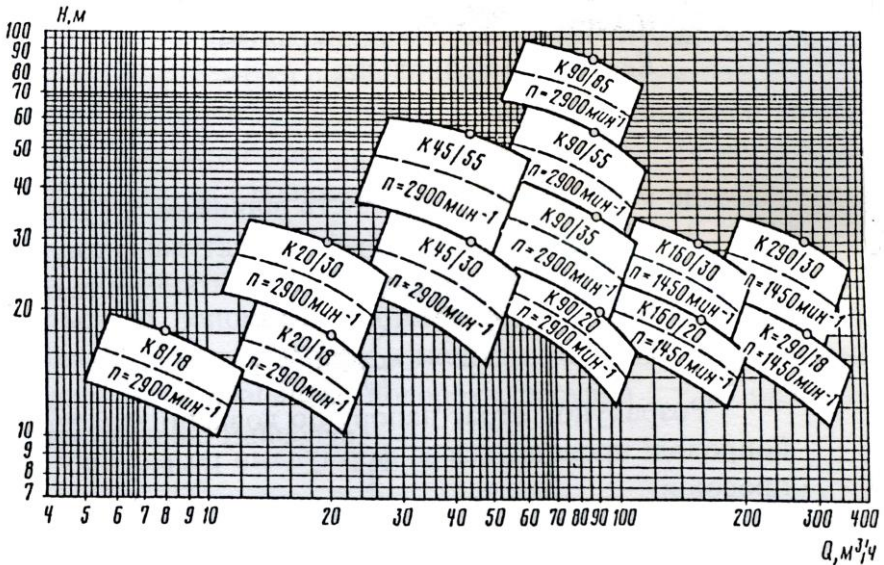


Рисунок 2 – Зведений графік полів ( $Q - H$ ) консольних насосів

Широке застосування в системах водопостачання, отримали консольні насоси (рис. 3,4) завдяки їхній надійності та зручності в експлуатації.

Консольний насос є характерним типом відцентрового насосу, робочий орган якого – робоче колесо. Воно складається з  $2^{\times}$  дисків, між якими, об'єднуючи їх в одну конструкцію, знаходяться лопатки, плавно відігнуті в сторону протилежну напрямку обертання колеса.

При обертанні робочого колеса на кожен частинку рідини масою  $m$  діє відцентрова сила  $F$

$$F = mr\omega^2$$

де  $r$  – відстань від центру частинки до вісі обертання колеса;

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \text{ – кутова швидкість обертання;}$$

$n$  – число обертів робочого колеса за хвилину.

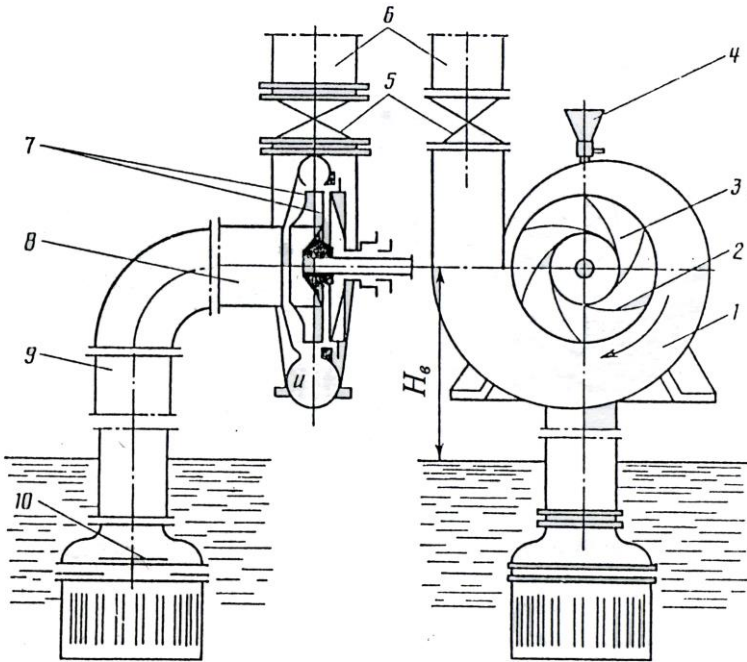


Рисунок 3 – Схема консольного насоса

1 – корпус; 2 – лопатки робочого колеса; 3 – робоче колесо; 4 – горловина для заповнення корпусу насоса рідиною; 5 – засувка; 6 – напірний трубопровід; 7 – диски робочого колеса; 8 – всмоктувальний патрубок; 9 – всмоктувальний трубопровід; 10 – приймальна сітка зі зворотним клапаном.

Під дією відцентрової сили рідина переміщується до периферійної частини колеса, де створюється підвищений тиск, а в центрі колеса утворюється вакуум.

Рух рідини у всмоктувальному трубопроводі відбувається внаслідок різниці тисків над вільною поверхнею рідини в нижньому резервуарі та в центральній частині колеса, де утворюється вакуум.



До групи консольних насосів відносяться відцентрові одноступеневі насоси з одностороннім підведенням рідини до робочого колеса. Колесо такого насоса розміщується на кінці вала (консолю), закріпленого в підшипниках корпусу насоса.

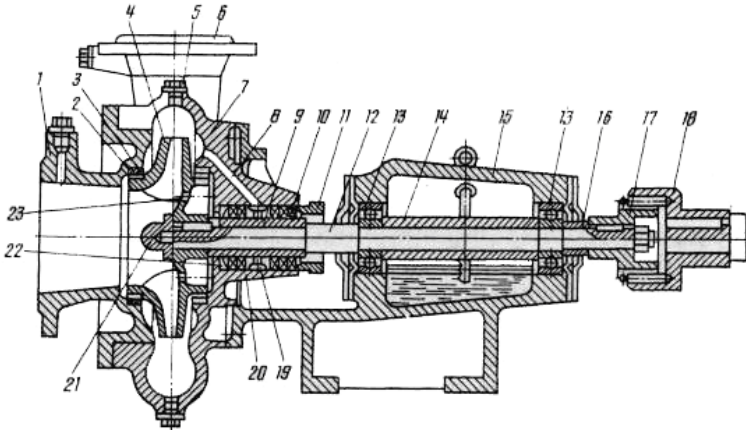


Рисунок 4 – Розріз відцентрового консольного насоса

1 – вхідний (всмоктувальний) патрубок; 2 – ущільнююче кільце; 3 – захисне кільце; 4 – робоче колесо; 5 – пробка отвору для під'єднання вакуумного насоса; 6 – вихідний (нагнітальний) патрубок; 7 – корпус насоса; 8 – отвір; 9 – захисна втулка; 10 – набивка сальника; 11 – кришка сальника; 12 – вал; 13 – підшипники; 14,16 – втулки; 15 – стійка опірня з ванною для оливи; 17,18 – напівмуфти; 19 – кільце гідравлічного ущільнення; 20 – корпус сальника; 21 – гайка; 22 – грандбуksа; 23 – розвантажувальний отвір.

Матеріал деталей проточної частини консольних насосів – сірий чавун.

Конструктивно насоси мають наступне виконання:

К – горизонтальні консольні з опорою на корпусі, з приводом від двигуна через пружну муфту;

КМ – консольні моноблочні. Робоче колесо встановлено на кінці подовженого вала електричного двигуна.

Ці насоси випускаються на однакові робочі параметри і при обмежених робочих площадках перевага віддається виконанню КМ, які, як правило, мають на 30% меншу довжину.

Консольні насоси призначені для перекачування води та інших нейтральних рідин з температурою від 0° до 85°С (за спе-

ціальним замовленням – до 105°C) з твердими включеннями розміром до 0,2мм, об’ємна концентрація яких не перевищує 0,1%.

Найбільший допустимий манометричний тиск на вході: для насосів типу К – 6 кгс/см<sup>2</sup>, для КМ – 3,5 кгс/см<sup>2</sup>.

Виконання насосу за вузлом ущільнення визначається температурою води та тиском на вході в насос. Ущільнення буває одинарним та подвійним. В одинарне сальникове ущільнення затворна рідина не подається. При температурі води більше ніж 85°C або при абсолютному тиску на вході нижче атмосферного в подвійне сальникове ущільнення подається затворна вода під тиском, що перевищує тиск рідини перед ущільненням на 0,5...1 кгс/см<sup>2</sup>. Нормальна величина витікання води назовні через сальник до 3 л/год (через сальник повинна просочуватись рідина для змащування ущільнюючої поверхні).

В позначення насосів традиційно закладається багато інформації.

До 1982 року позначення консольних насосів було наступним: наприклад 4К-6, де

“4” – діаметр всмоктувального патрубку в мм, зменшений в 25 разів;

“К” – консольний;

“6” – коефіцієнт швидкохідності насоса, зменшений в 10 разів і округлений.

Коефіцієнт швидкохідності – умовне число обертів, зв’язане з геометричними розмірами робочого колеса

$$n_s = \frac{3,65n\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H^3}}$$

де  $Q$  – подача, м<sup>3</sup>/с та  $H$  – напір, м – при максимальному ККД;

$n$  – число обертів, об/хв.

Більш швидкохідні насоси мають відносно низький напір.

Це позначення в більшій мірі відображало конструктивно-розмірні характеристики насосів.

У 1982 році було введено параметричне позначення насосів. Той же насос позначався як К90/85,

де “90” – подача, м<sup>3</sup>/год, “85” – напір, м – при максимальному ККД;

Це позначення в більшій мірі відображало споживчі властивості насоса.

З 1990 року введено позначення насосів у відповідності з міжнародними стандартами. Той же насос позначається К100-65-250аБ-СД,

де “100” – діаметр всмоктувального патрубка, мм;

“65” – діаметр напірного патрубка, мм;

“250” – номінальний діаметр робочого колеса, мм.

“а” – індекс обточки робочого колеса. Як правило більше двох обточок не буває, тому позначення вводять “а” і “б” (якщо колесо без обточки – то індексу немає).

“Б” – виконання за матеріалом проточної частини.

У зв’язку з великим розмаїттям рідин, що перекачуються насосами, використовується значна кількість матеріалів, для яких введені наступні позначення:

А – вуглецева сталь;

В – чавун, в тому числі сірий чавун (як правило цей матеріал не вказується);

Б – бронза;

К – хромонікелева сталь;

Ю – сплав алюмінію;

П – пластмаса;

Р – гумове покриття;

Ф – кераміка, фарфор;

“СД” – виконання за видом ущільнення;

С – одинарне сальникове ущільнення (без подачі затворної рідини);

СД – подвійне сальникове ущільнення (з подачею затворної рідини).

Попередні позначення мінялися без істотної зміни конструкції. Остання зміна потребувала значної зміни конструкції у відповідності з вимогами міжнародного стандарту.

Основною відмінністю та перевагою конструкції відцентрових насосів (з осьовим входом рідини на робоче колесо), розроб-

лених у відповідності з міжнародним стандартом, є те, що демонтаж насосу можливо здійснити без від'єднання напірного та всмоктувального трубопроводів. При цьому трубопроводи кріпляться до корпусу, а робоче колесо виймається зі сторони електричного двигуна.

Позначення насосів приведено в Д.7.

Робоча точка насосної установки А визначається перетином напірної характеристики насоса (Д.8 – Д.19) та гідравлічної характеристики трубопроводів (рис. 5). Гідравлічна характеристика трубопроводів визначається шляхом розрахунків втрат напору, задаючись певними витратами.

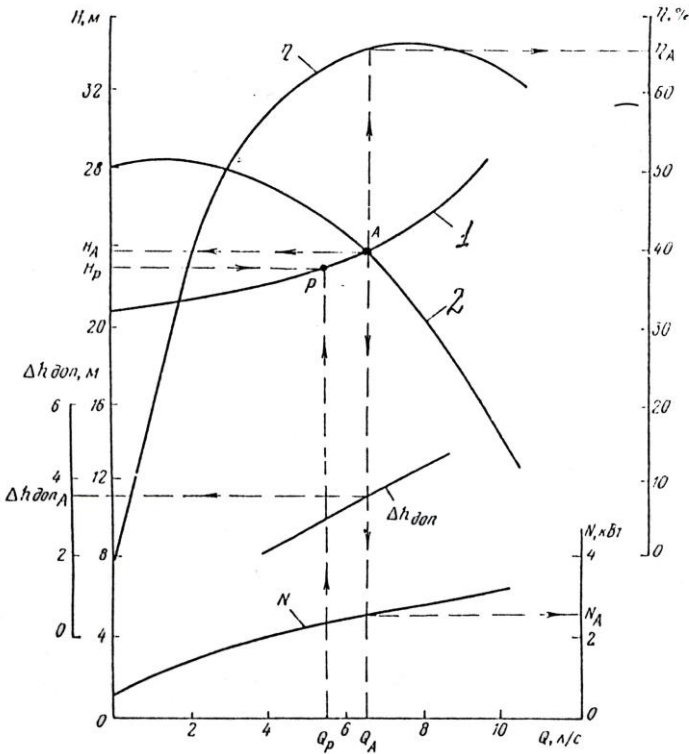


Рисунок 5 – Графіки для визначення робочих параметрів насоса 1 – гідравлічна характеристика трубопроводів НУ; 2 – напірна характеристика насоса;  $P$  – розрахункова точка НУ;  $A$  – робоча точка НУ.

За координатами робочої точки визначаються параметри насосної установки: подача –  $Q$ , напір –  $H$ , потужність –  $N$ , ККД –  $\eta$ , допустиме значення вакууму –  $H_{\text{вак}}^{\text{дон}}$  або допустимий кавітаційний запас  $\Delta h^{\text{дон}}$  насоса (рис. 5).

Якщо розрахункова точка на зведеному графіку полів насосів не попадає на поле якогось насоса, а знаходиться вище, то в цьому випадку потрібно вмикати насоси послідовно з метою збільшення напору. Сумісна характеристика насосів при їх послідовному включенні будується шляхом додавання напорів при однакових подачах (рис.6).

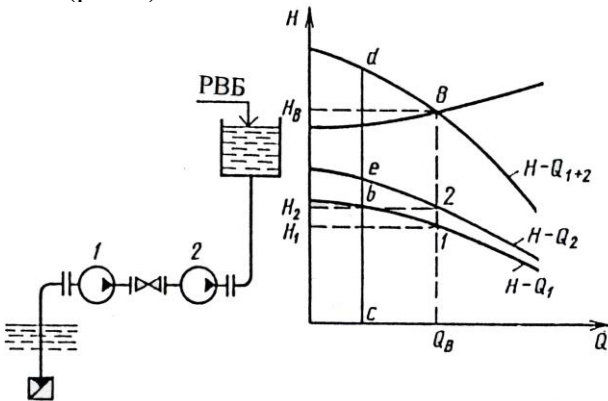


Рисунок 6 – Схема послідовного включення двох насосів, їх робочі та сумісна характеристики

Якщо розрахункова точка на зведеному графіку знаходиться правіше від полів насосів, то в цьому випадку необхідно включити насоси паралельно, з метою збільшення подачі. Сумісна характеристика насосів при паралельному вмиканні будується шляхом додавання подач при однакових напорах (рис.7).

Потужність двигуна для приводу насоса можна визначити за формулою

$$N = k_s \frac{\rho g Q H}{\eta_n \eta_n} \quad (11)$$

де  $k$  – коефіцієнт запасу ( $k = 1,05 \dots 1,3$ );

$\rho$  – густина рідини, що перекачується,  $\text{кг/м}^3$ ;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ ;

$Q$  – подача насоса, м<sup>3</sup>/с;

$H$  – напір насоса, м;

$\eta_n, \eta_n$  – відповідно ККД насоса та передачі.

При прямому з'єднанні двигуна та насоса  $\eta_n = 1$ .

Вибір електричного двигуна для привода насоса проводиться за потужністю та частотою обертання робочого колеса таким чином, щоб його частота обертання співпадала з частотою обертання робочого колеса насоса (див. технічні дані насоса).

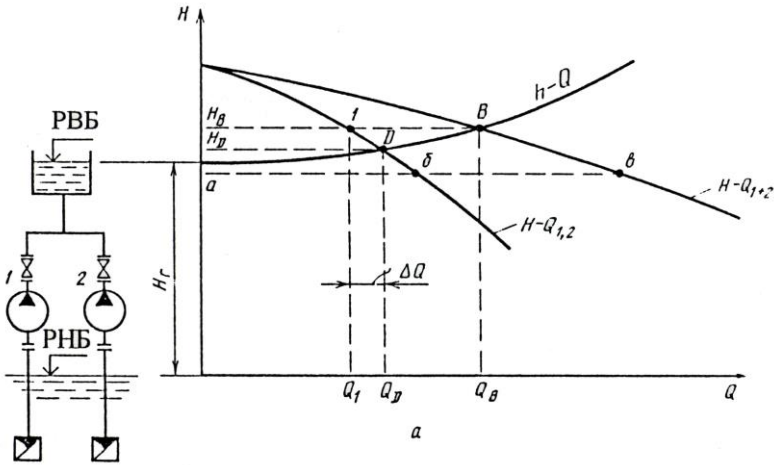


Рисунок 7 – Схема паралельного вмикання 2-х однакових насосів, їх робочі та сумісні характеристики

Для перекачування рідини необхідно, щоб вакуум перед робочим колесом був більшим від висоти всмоктування та втрат напору у всмоктувальному трубопроводі, але в той же час не повинен перевищувати певного значення. Для нормальної роботи насоса необхідно, щоб мінімальний абсолютний тиск перед робочим колесом був більшим від тиску насичених парів рідини (Д.20). У протилежному випадку рідина закипає і при цьому утворюються порожнини, заповнені парою. Ці порожнини об'єднуються, утворюючи великі бульбашки, які називаються *кавернами*. Поток рідини каверни переносяться в область підвищеного тиску, при цьому всередині каверни відбувається конденсація.

сація парів рідини і вони закриваються. Рідина, що оточує каверну, рухається до її центру з великою швидкістю і при співударянні її потоків виникає місцевий гідравлічний удар і тиск підвищується до декількох сот атмосфер в області руйнування каверни. Явище закипання рідини в проточній частині гідромашини, з утворенням каверн, називається *кавітацією*. Виникнення кавітації супроводжується значним зменшенням ККД, напору та подачі насоса. При значному розвитку кавітації настає інтенсивне руйнування поверхні деталей насоса, а в деяких випадках припиняється подача рідини.

Основними причинами виникнення кавітації є:

- високе розміщення насоса по відношенню до поверхні води в басейні;
- збільшення гідравлічних втрат у всмоктувальному трубопроводі;
- підвищення температури рідини, що перекачується.

Всмоктувальний трубопровід для зменшення ймовірності появи кавітації рекомендується робити по можливості коротким та з найменшим числом поворотів. Для запобігання підсмоктування повітря звичайно застосовуються сталеві всмоктувальні трубопроводи. Для того, щоб не виникала кавітація повинна виконуватись умова

$$H_g < H_g^{don} \quad (12)$$

де  $H_g$  – висота всмоктування рідини, м;

$H_g^{don}$  – допустима висота всмоктування рідини, м.

Висота всмоктування рідини визначається за формулою

$$H_g = \nabla BH - \nabla PHB \quad (13)$$

де  $\nabla BH$  – відмітка осі насоса, м.

Відмітка осі насоса визначається так

$$\nabla BH = \nabla ПГ + z \quad (14)$$

де  $z$  – висота розміщення насоса відносно нижньої поверхні фундаментної плити.

$\nabla ПГ$  – відмітка поверхні ґрунту, де розміщується насосна станція.

Допустима висота всмоктування визначається за наступними формулами:

$$H_e^{\text{дон}} = H_{\text{вак}}^{\text{дон}} - h_e - \frac{V_{\text{в.н.}}^2}{2g} \quad (15)$$

або

$$H_e^{\text{дон}} = \frac{P_{\text{ат}} - P_{\text{н.н.}}}{\rho g} - h_e - \Delta h^{\text{дон}} \quad (16)$$

де  $H_{\text{вак}}^{\text{дон}}$  – допустимий вакуум (визначається з характеристики насоса), м;

$h_e$  – втрати напору у всмоктувальному трубопроводі, м;

$V_{\text{в.н.}}$  – швидкість руху рідини у всмоктувальному патрубку насоса, м/с;

$p_{\text{ат}}$  – атмосферний тиск, Па ( $p_{\text{ат}} = 98100$  Па);

$p_{\text{н.н.}}$  – тиск насичених парів рідини (Д.20), Па;

$\Delta h^{\text{дон}}$  – допустимий кавітаційний запас (визначається з характеристики насоса), м.

Швидкість руху у всмоктувальному патрубку насоса визначається за формулою

$$V_{\text{в.н.}} = 1,27 \frac{Q}{D_{\text{в.н.}}^2} \quad (17)$$

де  $D_{\text{в.н.}}$  – діаметр всмоктувального патрубка насоса (визначається з характеристики насоса), м;

Якщо умова (12) не виконується, то потрібно або зменшити втрати напору у всмоктувальному трубопроводі, збільшивши його діаметр, або зменшити висоту всмоктування шляхом заглиблення будівлі насосної станції.

Однією з головних причин, що призводять до аварійних ситуацій в трубопроводах, є гідравлічний удар, який виникає при раптовій зупинці насоса в результаті вимкнення електроенергії. Робоче колесо насоса при цьому швидко зупиняється, подача рідини насосом припиняється, але рідина в напірному трубопроводі продовжує рухатися по інерції в сторону верхнього басейну. Внаслідок цього тиск на початку нагнітального трубопроводу різко зменшується, утворюючи вакуум і виникає розрив суцільності



поток. Значення вакууму в місці розриву потоку, за результатами дослідів, може досягати 8...9 м. Швидкість руху рідини в трубопроводі поступово зменшується до 0, а потім рідина під дією геодезичного напору та вакууму починає рухатись в зворотному напрямі в сторону насоса. При досягненні потоком рідини зворотного клапана він швидко закривається і виникає гідравлічний удар, що може призвести до руйнування трубопроводу. Зворотний клапан встановлюється з метою недопущення виникнення гідравлічного удару в корпусі насоса, а також недопущення руху води через насос в нижній басейн, тому що в цьому випадку насос з двигуном перетворюється в турбіну з генератором, що може призвести до аварії обладнання насосної станції.

Підвищення напору при гідравлічному ударі визначається за формулою Жуковського

$$\Delta H = \frac{cV_0}{g} \quad (18)$$

де  $c$  – швидкість розповсюдження хвилі гідравлічного удару, м/с;

$V_0$  – середня швидкість руху рідини при її зворотному русі, м/с.

Швидкість розповсюдження хвилі гідравлічного удару в трубопроводі з водою розраховується за формулою

$$c = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{d E_p}{e E}}} \quad (19)$$

де  $d$  – діаметр трубопроводу, мм;

$e$  – товщина стінок трубопроводу, мм;

$E_p$  – модуль пружності рідини, Па;

$E$  – модуль пружності стінок трубопроводу, Па.

Відношення  $E_p/E$  для води та деяких матеріалів труб приведено в Д.21.

Швидкість руху рідини при її зворотному русі в трубопроводі визначається виходячи з припущення, що весь напір

$$H' = H_{Г.Н} + h_{вак} \quad (20)$$

витрачається на подолання сил тертя ( $H' = h$ ). Геодезичний напір нагнітального трубопроводу визначається за формулою

$$H_{г.н} = \nabla P_{ВВ} - \nabla ПГ \quad (21)$$

З формули розрахунку довгого трубопроводу (9) визначимо витрату потоку рідини при зворотному русі рідини

$$Q_0 = \sqrt{\frac{K_H^2 H'}{L_H}} \quad (22)$$

Для спрощення задачі прийемо, що  $\theta_2 = 1$ .

Так як

$$Q_0 = V_0 \omega_H \quad (23)$$

де  $\omega_H$  – площа поперечного перерізу напірного трубопроводу,  $m^2$ ,

$$\text{то} \quad V_0 = \frac{Q_0}{\omega_H} = 1,27 \frac{Q_0}{d_H^2} \quad (24)$$

Для зменшення підвищення напору при гідравлічному ударі використовуються різні пристрої, найбільш ефективним з яких є повітряно-гідравлічний ковпак (ПГК), з'єднаний з напірним трубопроводом двома з'єднувальними трубками, кожна з яких має зворотній клапан та демпфіруючий опір.

По одній трубці вода рухається з ПГК в напірний трубопровід у фазі зниження тиску, і таким чином, запобігає утворенню вакууму та розриву суцільності потоку, а по другій – з напірного трубопроводу в ПГК у фазі підвищення тиску. Демпфіруючі опори спричиняють додаткові втрати тиску, що дозволяє значно зменшити об'єм повітря в ПГК, а відповідно і об'єм самого ПГК.

Розрахунок об'єму ПГК, при заданих параметрах, можна виконати за допомогою рішення чисельним способом рівняння Бернуллі з інерційним напором, рівняння стану повітря в ПГК та рівняння нерозривності потоку в вузлі з'єднання ПГК та напірного трубопроводу, записаних в кінцевих різницях.

## ЗАВДАННЯ

Визначити діаметри всмоктувального  $d_v$  та нагнітального  $d_n$  трубопроводів, підібрати відцентровий насос для подачі води витратою  $Q$  з нижнього басейну в верхній. Відмітки поверхні води в басейнах ( $\nabla PNB$ ,  $\nabla PVB$ ) та поверхні ґрунту  $\nabla ПГ$ , на місці встановлення насосної станції, довжина всмоктувального трубопроводу  $l_v$  та нагнітального  $L_n$ , задані (таблиця 2). Всмоктувальний трубопровід, для запобігання підсмоктування повітря, виготовляється з нових сталевих труб. Матеріал труб нагнітального трубопроводу задано. Втрати напору в місцевих опорах нагнітального трубопроводу складають  $v$  (%) від втрат напору по довжині. Втрати напору в місцевих опорах всмоктувального трубопроводу (приймальна сітка зі зворотним клапаном та повороти) визначити за формулами розрахунку коротких трубопроводів. Кількість поворотів на всмоктувальному трубопроводі та їх вид задані (див. табл. 2).

Необхідно:

- визначити параметри насосної установки ( $Q$ ,  $H$ ,  $N$ ,  $\eta$ ,  $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$  або  $\Delta h^{\text{доп}}$ );
- підібрати з довідника електричний двигун для приводу насоса;
- перевірити насос на відсутність кавітації;
- визначити підвищення тиску в нагнітальному трубопроводі при раптовому вимкненні насоса.

Втрати напору в місцевих опорах нагнітального трубопроводу і температура води, що перекачується назначається в залежності від варіанту матеріалу трубопроводу в табл. 1.

Таблиця 1 – Втрати напору в місцевих опорах та температура рідини.

Варіант матеріалу трубопроводу	1	2	3	4	5
$v$ , %	5	6	7	8	9
$t$ , °C	6	8	12	15	18

Товщину стінок трубопроводу прийняти такими: сталеві – 4,5 мм, чавунні – 8 мм, пластмасові – 7 мм; відстань  $z = 0,3$  м.

Таблиця 2 – Варіанти завдань

№ варіанту	$Q$ , м <sup>3</sup> /год	$l_v$ , м	$L_n$ , км	$\nabla P_{НБ}$ , м	$\nabla P_{ВБ}$ , м	$\nabla P_{ПГ}$ , м	Повороти у всмокт. гр-ді	Вар. матер. гр-ду
1	8	20	1,2	50	63	55	2п(d/R <sub>0</sub> =0,6)	1
2	10	25	1,4	55	65	58	3п(d/R <sub>0</sub> =0,7)	2
3	14	30	1,6	60	67	63	4п(d/R <sub>0</sub> =0,8)	3
4	15	35	1,8	65	80	69	3п(d/R <sub>0</sub> =0,9)	4
5	18	34	2,0	70	88	74	3п(d/R <sub>0</sub> =1,0)	5
6	21	33	2,2	70	90	75	3п(d/R <sub>0</sub> =0,5)	1
7	22	32	2,4	72	89	76	4п(d/R <sub>0</sub> =0,7)	2
8	28	21	1,1	85	95	88	2п(d/R <sub>0</sub> =0,7)	3
9	30	22	1,2	86	100	90	2р(β = 40°)	4
10	34	23	1,3	77	88	81	2р(β = 60°)	5
11	38	24	1,4	66	88	70	2п(d/R <sub>0</sub> =0,7)	1
12	40	25	1,5	47	59	51	3р(β = 60°)	2
13	42	26	1,6	36	48	40	2р(β = 30°)	3
14	44	27	1,7	33	50	37	2п(d/R <sub>0</sub> =0,7)	4
15	45	28	1,8	34	51	38	2р(β = 70°)	5
16	50	29	1,9	47	63	51	3р(β = 60°)	1
17	60	30	2,0	49	69	54	3р(β = 40°)	2
18	62	20	0,9	48	68	52	2п(d/R <sub>0</sub> =0,7)	3
19	64	19	0,8	41	65	45	2р(β = 80°)	4
20	66	18	0,7	55	70	59	3р(β = 30°)	5
21	68	21	0,7	56	70	60	2р(β = 30°)	1
22	70	22	0,8	58	78	62	2п(d/R <sub>0</sub> =0,7)	2
23	75	23	0,9	61	77	64	2р(β = 40°)	3
24	80	24	1,0	63	80	66	3п(d/R <sub>0</sub> =0,5)	4
25	85	25	1,1	49	69	54	2р(β = 60°)	5
26	90	26	1,2	78	95	81	2р(β = 30°)	1
27	140	27	1,3	75	99	79	2п(d/R <sub>0</sub> =0,7)	2
28	150	28	1,4	76	98	80	3п(d/R <sub>0</sub> =0,5)	3
29	180	29	1,5	67	88	71	3р(β = 30°)	4
30	250	30	1,0	71	90	75	2р(β = 30°)	5
1-сталеві нові; 2- сталеві ненові; 3-пластмасові; 4- чавунні нові; 5-чавунні ненові; .							Повороти	
							п-плавний	р-різкий

## ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ РГЗ

## Вихідні дані

$L$ , км	$l$ , м	$Q$ , м <sup>3</sup> /Год	$\nabla_{РВБ}$ , м	$\nabla_{РНБ}$ , м	$\nabla_{ПГ}$ , м	Повороти	Труби	$t$ , °С
1,1	33	80	87	71	75	3п ( $d/R_0=0,6$ )	Ст. нові	10

1. Визначимо діаметри всмоктувального та нагнітального трубопроводів

$$d = 1,13 \sqrt{Q/V_p}$$

$$Q = 80 \text{ м}^3/\text{Год} = (80/3600) \text{ м}^3/\text{с} = 0,022 \text{ м}^3/\text{с} = 22 \text{ л/с}$$

$$V_p = 1 \text{ м/с (Д.2)}$$

$$d = 1,13 \sqrt{Q/V_p} = 1,13 \sqrt{0,022/1} = 0,168 \text{ м} = 168 \text{ мм}$$

2. Вибираємо стандартні діаметри трубопроводів (найближчі більший і найменший діаметри) і визначаємо швидкості руху води в них

$$d_6 = 170 \text{ мм}$$

$$V_6 = 1,27(0,022/0,17^2) = 0,97 \text{ м/с}$$

$$d_n = 158 \text{ мм}$$

$$V_n = 1,27(0,022/0,158^2) = 1,12 \text{ м/с}$$

3. Визначаємо втрати напору в місцевих опорах всмоктувального трубопроводу

$$h_m = h_{n.c.} + 3h_n = (\xi_{n.c.} + 3\xi_n) \frac{V_6^2}{2g} = (6 + 3 \cdot 0,16) \frac{0,97^2}{2 \cdot 9,81} = 0,3 \text{ м}$$

$$\xi_{n.c.} = 6 \text{ (Д.1)}$$

$$\xi_n = 0,16 \text{ (Д.1)}$$

4. Визначимо втрати напору по довжині у всмоктувальному трубопроводі

$$h_o = \lambda \frac{l_6}{d_6} \frac{V_6^2}{2g} = 0,0187 \frac{33}{0,17} \frac{0,97^2}{2 \cdot 9,81} = 0,17 \text{ м}$$

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{\Delta_e}{d_6} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25} = 0,11 \left( \frac{0,05}{170} + \frac{68}{125000} \right)^{0,25} = 0,0187$$

$$\text{Re} = \frac{V_6 d_6}{\nu} = \frac{0,97 \cdot 0,17}{1,32 \cdot 10^{-6}} \cong 125000$$

$$\Delta_e = 0,05 \text{ мм (Д.3)}$$

$$\nu = 1,32 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с (Д.4)}$$

5. Визначимо загальні втрати напору у всмоктувальному трубопроводі

$$h_6 = h_m + h_0 = 0,3 + 0,17 = 0,47 \text{ м}$$

6. Визначимо втрати напору у нагнітальному трубопроводі

$$h_n = \theta_2 \frac{L}{K^2} Q^2 k = 0,99 \frac{1100}{45090} 22^2 \cdot 1,05 = 12,27 \text{ м}$$

$$\theta = 0,99 \text{ (Д.5.)} \quad K^2 = 45090 \text{ (л/с)}^2 \text{ (Д.6.)} \quad k = 1,05$$

$k$  – коефіцієнт, що враховує втрати напору в місцевих опорах.

7. Визначимо загальні втрати напору в трубопроводах

$$h_w = h_6 + h_n = 0,47 + 12,27 = 12,74 \text{ м}$$

8. Визначимо геодезичний напір

$$H_\Gamma = \nabla P B B - \nabla P H B = 87 - 71 = 16 \text{ м}$$

9. Визначимо необхідний напір насоса

$$H = H_\Gamma + h_w = 16 + 12,74 = 28,74 \text{ м}$$

10. На зведеному графіку полів насосів (рис.2) за заданою витратою  $Q$  та напором  $H$  вибираємо насос КМ 90/35а

$$D_\kappa = 163 \text{ мм} \quad n = 2900 \text{ об/хв.} \quad D_{e.n.} = 100 \text{ мм}$$

11. Визначимо гідравлічну характеристику трубопроводів

$Q$ , л/с	0	8	16	24	32
$V_6$ , м/с	0	0,35	0,7	1,05	1,41
$Re$	0	45076	90152	135227	181591
$\lambda$	0	0,0028	0,02	0,0185	0,0177
$h_m$ , м	0	0,038	0,154	0,346	0,624
$h_0$ , м	0	0,0034	0,097	0,2	0,35
$h_6$ , м	0	0,0414	0,251	0,546	0,974
$V_n$ , м/с	0	0,41	0,81	1,22	1,63
$\theta_2$	-	1,1	1,04	1,0	0,97
$h_n$ , м	0	1,8	6,82	14,75	25,4
$h_w$ , м	0	1,84	6,85	15,3	26,4
$H_\Gamma + h_w$ , м	16	17,84	22,85	31,3	42,4

12. Визначимо робочі параметри насоса за побудованими характеристиками насоса та робочою точкою насосної установки

*Технічні дані насоса*

$Q$ , л/с	0	8	16	24	32
$H$ , м	31	33	32	28,6	18
$N$ , кВт	3,8	5,5	7	8,8	9,6
$\eta$ , %	0	45	69	72	60
$H_{\text{вак}}^{\text{дон}}$ , м	-	-	7,0	6,0	4,0

$H$ , м, %

$N$ , кВт

$H$ , м

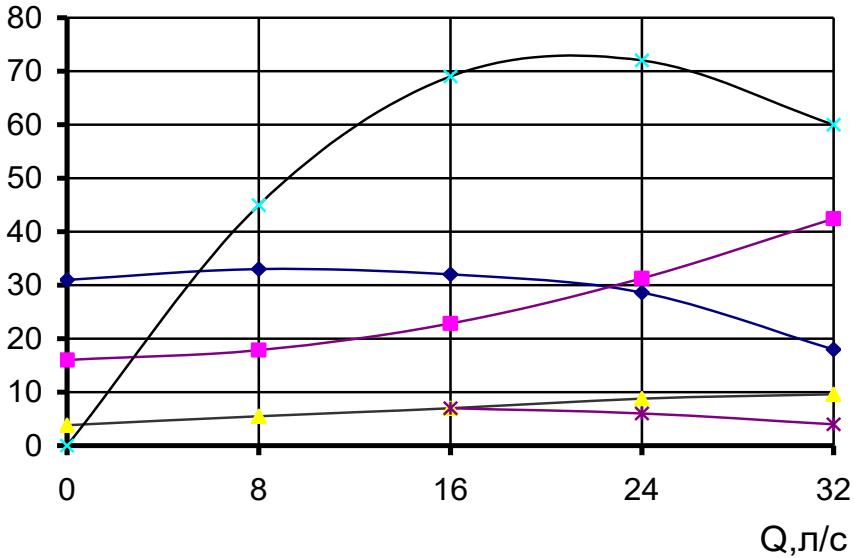


Рисунок 8 – Визначення параметрів насоса

$$Q = 22,6 \text{ л/с}; H = 30 \text{ м}; N = 9,2 \text{ кВт}; \eta = 72\%; H_{\text{вак}}^{\text{дон}} = 6,5 \text{ м}$$

13. Визначимо необхідну потужність електричного двигуна для привода насоса

$$N = k_s \frac{\rho g Q H}{\eta_n \eta_n} = 1,05 \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,0226 \cdot 30}{0,72 \cdot 1} = 9,7 \text{ кВт}$$

Вибираємо електричний двигун для привода насоса АИР 132М2, потужністю  $N = 11$  кВт, частота обертів – 3000 об/хв. (Наприклад, із сайту: <https://slemz.com.ua/news/stati/elektrodiviguni-air>)

14. Визначимо втрати напору у всмоктувальному трубопроводі при визначеній подачі насоса  $Q = 22,6$  л/с (з таблиці, пункт 11).

$$h_g \cong 0,5 \text{ м}$$

15. Визначимо швидкість руху води у всмоктувальному патрубку насоса

$$V_{e.n.} = 1,27 \frac{Q}{D_{e.n.}^2} = 1,27 \frac{0,0226}{0,1^2} = 2,87 \text{ м/с}$$

16. Визначимо допустиму висоту всмоктування насоса

$$H_e^{don} = H_{eак}^{don} - h_g - \frac{V_{e.n.}^2}{2g} = 6,5 - 0,5 - \frac{2,87^2}{2 \cdot 9,81} = 5,6 \text{ м}$$

17. Визначимо висоту всмоктування насоса

$$H_g = \nabla ПГ + z - \nabla РНБ = 75 + 0,3 - 71 = 4,3 \text{ м}$$

18. Порівнюємо допустиму висоту всмоктування  $H_e^{don} = 5,6$  м з реальною висотою всмоктування  $H_g = 4,3$  м і робимо висновок, що кавітація не виникає.

19. Визначимо геодезичний напір нагнітального трубопроводу

$$H_{Г.Н} = \nabla РВБ - \nabla ПГ - z = 87 - 71 - 0,3 = 15,7 \text{ м}$$

20. Визначимо максимально можливу витрату в трубопроводі при зворотньому русі води у випадку раптового вимкнення насоса

$$Q_0 = \sqrt{\frac{K_H^2 H'}{L_H}} = \sqrt{\frac{45090 \cdot 24}{1100}} = 31,2 \text{ л/с}$$

$$H' = H_{Г.Н.} + h_{eак} = 15,7 + 8 = 23,7 \text{ м}$$

$$h_{eак} = 8 \dots 9 \text{ м (з дослідів).}$$



21. Визначимо максимально можливу швидкість руху води у нагнітальному трубопроводі при зворотному русі води у випадку раптового вимкнення насоса

$$V_0 = \frac{Q_0}{\omega_H} = 1,27 \frac{Q_0}{d_H^2} = 1,27 \frac{0,0312}{0,158^2} = 1,6 \text{ м/с}$$

22. Визначимо швидкість розповсюдження хвилі гідравлічного удару в напірному трубопроводі

$$c = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{d}{e} \frac{E_p}{E}}} = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{158}{4,5} \cdot 0,01}} = 1226 \text{ м/с}$$

Відношення  $E_p/E$  вибирається в залежності від матеріалу трубопроводу (Д. 21).

23. Визначимо підвищення напору в нагнітальному трубопроводі при гідравлічному ударі, що виникає внаслідок раптового вимкнення насоса

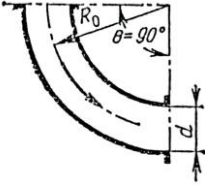
$$\Delta H = \frac{cV_0}{g} = \frac{1226 \cdot 1,6}{9,81} = 200 \text{ м}$$

Таким чином підвищення напору при гідравлічному ударі досягає небезпечного значення і для захисту трубопроводу від пошкоджень необхідно передбачувати пристрої захисту від гідравлічного удару.

## ДОДАТКИ

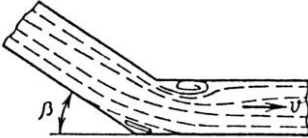
## Д.1. Коефіцієнти опору місцевих опорів

## 1. Плавний поворот



$d/R_0$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2
$\xi$	0,14	0,15	0,16	0,21	0,22	0,24	0,29	0,44

## 2. Різкий поворот

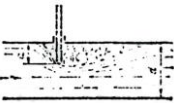


$\beta^\circ$	30	40	60	70	80	90
$\xi$	0,2	0,3	0,55	0,7	0,9	1,1

## 3. Зворотній клапан з сіткою

d, мм	40	50	75	100	125	150	200	250	300	400
$\xi$	12	10	8	7	6,5	6	5,2	4,5	3,7	3

## 4. Засувка



$a/d$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,88
$\xi$	0,05	0,06	0,2	0,4	1,0	2,1	4,6	10	35	97,8

Д.2. Рекомендовані швидкості руху води  $V_p$   
в трубопроводах насосної станції

Діаметр труби, мм	$V_p$ , м/с	
	всмоктувальний	нагнітальний
До 250 мм	0,7...1	1...1,5
300...800 мм	1...1,5	1,2...2

Д.3. Середні значення еквівалентної шорсткості для труб з різних матеріалів

Матеріал труб	Стан труб	$\Delta_e$ , мм
Безшовні сталеві труби	Нові та чисті	0,03
	Після декількох років експлуатації	0,2
Сталеві зварні труби	Нові та чисті	0,05
	В міру іржаві	0,5
	Старі іржаві	1,0
	Сильно іржаві	3,0
Чавунні труби	Нові	0,3
	Були у вжитку	1,0
	Дуже старі	3,0
Поліетиленові труби	-	0,003

Д.4. Кінематична в'язкість води

$t, ^\circ\text{C}$	0	4	8	12	16	20	30	40	50	60
$\nu \cdot 10^{-6}, \text{ м}^2/\text{с}$	1,79	1,57	1,39	1,24	1,12	1,01	0,8	0,65	0,55	0,48

Д.5. Коефіцієнт  $\theta_2$  який враховує ступінь турбулентності потоку води

$V, \text{ м/с}$	Труби			
	Пластмасові	Нові чавунні	Нові сталеві	Неніві чавунні та сталеві
0,5	1,17	1,16	1,08	1,15
0,6	1,12	1,12	1,06	1,11
0,7	1,08	1,08	1,04	1,08
0,8	1,05	1,05	1,02	1,06
0,9	1,02	1,02	1,01	1,04
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
1,2	0,96	0,96	0,99	1,0
1,4	0,93	0,94	0,97	1,0
1,6	0,9	0,92	0,96	1,0
1,8	0,88	0,9	0,96	1,0
2,0	0,86	0,88	0,95	1,0
2,2	0,84	0,87	0,95	1,0

Д.6. Квадрат модуля витрат  $K^2$  для труб при внутрішньому діаметрі  $d$  ( умовний прохід  $d_y$ ) без врахування поправки  $\theta_2$  на ступінь турбулентності потоку води.

$d$ , мм	$K^2$ , ( л/с ) <sup>2</sup>		$d_y$ , мм
	нові	ненові	
Труби сталеві водогазопровідні			
5,2	0,001969	0,0004537	6
8,1	0,01462	0,004747	8
11,6	0,08971	0,03204	10
14,7	0,2521	0,1116	15
20,2	1,204	0,5991	20
26,1	4,383	2,344	25
34,9	19,06	10,89	32
40	42,16	24,80	40
52	145,3	90,25	50
66,5	517,9	334,2	70
79,5	1287	852,6	80
92,3	2782	1892	90
104	5186	3552	100
130	16500	11620	125
155	40980	29480	150
Труби сталеві електрозваренні			
64	424,2	271,9	50
70	665,1	434,7	70
83	1604	1076	75
95	3255	2200	80
114	8383	5822	100
133	18620	13110	125
158	45090	32440	150
170	66380	48100	175
209	193200	143100	200
260	608600	461000	250
311	$1518 \cdot 10^3$	$1186 \cdot 10^3$	300
363	$3403 \cdot 10^3$	$2680 \cdot 10^3$	350

Продовження Д.б.

414	$6630 \cdot 10^3$	$5144 \cdot 10^3$	400		
464	$1242 \cdot 10^4$	$1002 \cdot 10^4$	450		
516	$2129 \cdot 10^4$	$1731 \cdot 10^4$	500		
Труби чавунні					
51,6	104,2	86,85	50		
82,6	1204	1050	80		
102	3607	3192	100		
127,2	11600	10360	125		
152,4	29320	26900	150		
202,6	135100	123900	200		
253	429900	394400	250		
304,4	$1139 \cdot 10^3$	$1055 \cdot 10^3$	300		
352	$2400 \cdot 10^3$	$2286 \cdot 10^3$	350		
401	$4809 \cdot 10^3$	$4580 \cdot 10^3$	400		
450	$8892 \cdot 10^3$	$8468 \cdot 10^3$	450		
500	$1534 \cdot 10^4$	$1475 \cdot 10^4$	500		
Труби пластмасові					
$d$ , мм	$K^2$ , л/с	$d_y$ , мм	$d$ , мм	$K^2$ , л/с	$d_y$ , мм
14	0,08294	15	81,8	1075	80
18	0,3721	20	100	3125	100
22,7	1,32	25	127,2	10800	125
29,1	4,928	30	145,4	21960	150
36,3	15,21	40	212,2	198000	200
45,4	49,7	50	269,2	758600	250
57,2	153,8	60	302,8	$1414 \cdot 10^3$	300
68,1	412,1	70			

## Д.7. Маркування консольних насосів

<i>з 1973 р.</i>	<i>з 1982 р.</i>	<i>з 1990 р.</i>
1,5 К-6	К 8/18	К50-32-125
1,5 КМ-6	КМ 8/18	КМ50-32-125
2 К-6	К 20/30	К65-50-160
2 КМ-6	КМ 20/30	КМ65-50-160
2 К-9	К 20/18	К65-50-125
2 КМ-9	КМ 20/18	КМ65-50-125
3 К-6	К 45/55	К80-50-200
3 КМ-6	КМ 45/55	КМ80-50-200
3 К-9	К 45/30	К80-65-160
3 КМ-9	КМ 45/30	КМ80-65-160
4 К-6	К 90/85	К100-65-250
4 КМ-6	КМ 90/85	КМ100-65-250
4 К-8	К 90/55	К100-65-200
4 КМ-8	КМ 90/55	КМ100-65-200
4 К-12	К 90/35	К100-80-160
4 КМ-12	КМ 90/35	КМ100-80-160
4 К-18	К 90/20	К100-80-140
4 КМ-18	КМ 90/20	КМ100-80-140
6 К-8	К 160/30	К150-125-315
6 К-12	К 160/20	К150-125-250
6 КМ-12	КМ 160/20	КМ150-125-250
8 К-12	К 290/30	К200-150-315
8 К-18	К 290/18	К200-150-250

Д.7.Технічні дані насосів типу К 8/18  
 $n = 2900$  об/хв,  $D_{в.н.} = 37,5$  мм

$Q$	л/с	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
	$м^3/год$	0	1,8	3,6	5,4	7,2	9,0	10,8	12,6	14,4
К 8/18 КМ 8/18 $D_k=128$ мм	Н, м	20	20,5	21	20,3	19,6	18,8	18,0	16,0	14,0
	Н,кВт	0,42	0,50	0,60	0,69	0,79	0,88	0,95	1,0	1,1
	$\eta$ , %	0	15	31	42	50	49	48	47	46
К 8/18а КМ 8/18а $D_k=115$ мм	Н, м	15,9	16	16	15,9	15	14,3	13,1	11,9	10,6
	Н,кВт	0,35	0,42	0,5	0,59	0,65	0,74	0,81	0,86	0,9
	$\eta$ , %	0	15,1	30	40	48	47	46	45	43
К 8/18б КМ 8/18б $D_k=105$ мм	Н, м	13,4	13,1	13,0	12,4	12,0	11,4	10,3	9,0	8,0
	Н,кВт	0,27	0,35	0,41	0,47	0,55	0,59	0,64	0,7	0,78
	$\eta$ , %	0	15,1	28,0	38,0	45,0	45,0	44,1	42,5	40
	$\Delta h_{дон}^{don}, м$	-	-	-	-	3,0	3,2	3,4	3,6	-

Д.8. Технічні дані насосів типу К 20/18  
 $n = 2900$  об/хв,  $D_{в.н.} = 50$  мм

$Q$	л/с	0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
	$м^3/Год$	0	3,6	7,2	10,8	14,4	18,0	21,6	25,2
К 20/18 КМ 20/18 $D_K=129$ мм	Н, м	20	20,8	21,6	20,8	20,0	18,8	17,5	15,6
	Н,кВт	0,6	0,75	0,95	1,2	1,35	1,4	1,51	1,6
	$\eta$ , %	0	22	40	55	64	68	65	60
К 20/18а КМ 20/18а $D_K=118$ мм	Н, м	16,0	16,8	17,0	16,8	15,6	14,8	12,6	-
	Н,кВт	0,5	0,6	0,75	0,8	0,9	1,1	1,2	-
	$\eta$ , %	0	23	43	53	59	61	62	-
К 20/18б КМ 20/18б $D_K=106$ мм	Н, м	12,7	13,0	13,3	13,0	12,3	11,25	9,0	-
	Н,кВт	0,4	0,51	0,65	0,70	0,75	0,80	0,82	-
	$\eta$ , %	0	24	40	51	59	64	58	-
	$\Delta h^{дон}, м$	-	-	-	2,0	2,1	2,5	3,8	



Д.9. Технічні дані насосів типу К 20/30  
 $n = 2900$  об/хв,  $D_{в.н.} = 50$  мм

$Q$	л/с	0	2,0	4,0	6,0	8,0	10	11
	$\text{м}^3/\text{Год}$	0	7,2	14,4	21,6	28,8	36,0	39,6
К 20/30 КМ 20/30 $D_{к}=168$ мм	Н, м	33,9	34,8	33,4	29,9	25,0	18,8	15,9
	N,кВт	0,9	1,6	2,2	2,7	3,1	3,3	3,2
	$\eta$ , %	0	42	58	65	64	57	53
К 20/30а КМ 20/30а $D_{к}=148$ мм	Н, м	28,0	28,3	27,8	24,3	20,4	15,6	12,4
	N,кВт	0,6	1,3	1,7	2,15	2,45	2,65	2,6
	$\eta$ , %	0	45	63	66	64	57	51
К 20/30б КМ 20/30б $D_{к}=132$ мм	Н, м	21,1	22,3	21,0	17,9	14,0	9,0	-
	N,кВт	0,45	0,9	1,45	1,65	1,8	1,9	-
	$\eta$ , %	0	45	63	65	61	45	-
	$\Delta h^{don}$ , м	-	1,3	1,9	2,7	4,1	-	-

Д.10. Технічні дані насосів типу К 45/30  
 $n = 2900$  об/хв,  $D_{в.н.} = 75$  мм

$Q$	л/с	0	2	4	6	8	10	12	14	16
	м <sup>3</sup> /год	0	7,2	14,4	21,6	28,8	36,0	43,2	50,4	57,6
К 45/30 КМ 45/30 $D_k=168$ мм	Н, м	33,5	35,4	36,0	36,0	35,0	34	31,5	28,0	25
	Н, кВт	1,9	2,3	3,5	4,0	4,4	5,0	5,3	5,8	5,9
	$\eta$ , %	0	22	36	50	60	66	70	71	70
К 45/30а КМ 45/30а $D_k=143$ мм	Н, м	23,5	24,5	25,0	24,5	23,5	22,5	20,0	17,0	-
	Н, кВт	0,9	1,2	1,9	2,2	2,9	3,1	3,5	3,8	-
	$\eta$ , %	0	29	48	58	65	71	72	67	-
	$\Delta h^{дон}$ , м	-	-	-	-	2,4	2,9	3,7	5,5	-

## Д.11. Технічні дані насосів типу К 45/55

 $n = 2900$  об/хв,  $D_{в.н.} = 75$  мм

$Q$	л/с	0	4	6	10	14	16
	$\text{м}^3/\text{ГОД}$	0	14,4	21,6	36,0	50,4	64,8
К 45/55 КМ 45/55 $D_k=218$ мм	Н, м	60	62	60	56	52	40
	Н, кВт	4,2	7,0	8,0	10,1	11,9	13,0
	$\eta$ , %	0	35	44	60	64	60
К 45/55а КМ 45/55а $D_k=192$ мм	Н, м	46	48,5	48	42	38	30
	Н, кВт	3	4,6	5,8	6,9	8	8,8
	$\eta$ , %	0	38	47	60	60	57
	$H_{\text{вак}}^{\text{дон}}$ , м	-	-	8	7,3	6,2	5,2

## Д.12. Технічні дані насосів типу К 90/20

 $n = 2900$  об/хв,  $D_{e.n.} = 100$  мм

$Q$	л/с	0	4	8	12	16	20	24	28	32
	м <sup>3</sup> /год	0	14,4	28,8	43,2	57,6	72	86,4	100,8	115
К 90/20 КМ 90/20 $D_k=148$ мм	Н, м	25,8	26,8	27,2	26,8	26,3	24	21,5	18,6	15
	N,кВт	2,2	3,4	4	4,85	5,5	6	6,2	6,4	6,6
	$\eta$ , %	0	29	48	64	75	80	80	75	70
К 90/20а КМ 90/20а $D_k=136$ мм	Н, м	21,2	21,9	22,1	21,8	20	18	15	11,9	-
	N,кВт	1,7	2,1	3	3,85	4,1	4,3	4,5	4,55	-
	$\eta$ , %	0	35	56	69	76	80	75	70	-
	$\Delta h^{don}$ , м	-	-	-	-	4,5	4,6	4,9	6	-

Д.13. Технічні дані насосів типу К 90/35  
 $n = 2900$  об/хв,  $D_{в.л.} = 100$  мм

$Q$	л/с	0	4	8	12	16	20	24	28	32
	м <sup>3</sup> /ГОД	0	14,4	28,8	43,2	57,6	72	86,4	100,8	115
К 90/35 КМ 90/35 $D_k=174$ мм	Н, м	36,5	38	40	40	39	38	35	30,2	26
	N,кВт	4,0	5,5	6,6	7,5	8,4	8,9	10,5	11	12,3
	$\eta$ , %	0	29	46	60	68	74	78	74	70
К 90/35а КМ 90/35а $D_k=163$ мм	Н, м	31	32,5	33	32,5	32	30	28,6	24	18
	N,кВт	3,8	4,3	5,5	6,6	7	8,2	8,8	9,2	9,6
	$\eta$ , %	0	28	45	60	69	74	72	68	60
	$H_{\text{вас}}^{\text{дон}}$ , м	-	-	-	7,2	7,0	6,5	6,0	5,5	4,0

## Д.14. Технічні дані насосів типу К 90/55

 $n = 2900$  об/хв,  $D_{в.л.} = 100$  мм

$Q$	л/с	0	5	10	15	20	25	30	35
	$\text{м}^3/\text{ГОД}$	0	18	36	54	72	90	108	126
К 90/55 КМ 90/55 $D_k = 218$ мм	Н, м	60	62	63	62	60	54	48	40
	Н, кВт	7,5	11	13	16	17,5	19	21	22
	$\eta$ , %	0	25	43	60	70	72	69	60
К 90/55а КМ 90/55а $D_k = 200$ мм	Н, м	48	50	51	50	48	43	37	25
	Н, кВт	5	8	11,5	12,5	14	16	16,5	17
	$\eta$ , %	0	25	45	60	68	70	64	55
	$H_{\text{вак}}^{\text{дон}}$ , м	-	-	-	5,6	5	4,3	4	3,8

Д.15. Технічні дані насосів типу К 90/85  
 $n = 2900$  об/хв,  $D_{в.л.} = 100$  мм

$Q$	л/с	0	8	16	24	32	40
	м <sup>3</sup> /ГОД	0	28,8	57,6	86,4	115	144
К 90/85 КМ 90/85 $D_k = 272$ мм	Н, м	97,9	100	99	90	73	64
	Н, кВт	10	19	25	31	38	37
	$\eta$ , %	0	36	55	65	66	62
К 90/85а КМ 90/85а $D_k = 250$ мм	Н, м	87	90	87	76	59	50
	Н, кВт	9	16	21	26	31	31
	$\eta$ , %	0	34	57	65	60	54
	$H_{\text{вак}}^{\text{дон}}$ , м	-	-	7,2	6,4	5,0	3,1

Д.16. Технічні дані насосів типу К 160/20  
 $n = 1450$  об/хв,  $D_{в.п.} = 150$  мм

$Q$	л/с	0	8	16	24	32	40	48	56
	м <sup>3</sup> /ГОД	0	28,8	57,6	86,4	115	144	175	202
К 160/20 $D_k = 264$ мм	H, м	22	22,8	23,6	23,6	22,5	21,2	19,2	17
	N, кВт	4,9	6	7	8	9	10,5	11,8	12,1
	$\eta$ , %	0	26	48	62	73	81	81	77
К 160/20а $D_k = 240$ мм	H, м	17,2	17,9	18,3	18	17	15,5	13,3	10
	N, кВт	4	4,6	5	6	7	7,6	8	8,2
	$\eta$ , %	0	26	50	67	75	76	74	68
	$H_{\text{в.п.}}^{\text{дон}}$ , м	-	-	8,6	8,5	8,4	8,25	7,9	7



Д.17. Технічні дані насосів типу К 160/30  
 $n = 1450$  об/хв,  $D_{в.п.} = 150$  мм

$Q$	л/с	0	10	20	30	40	50	60
	м <sup>3</sup> /ГОД	0	36	72	108	144	180	216
К 160/30 $D_K = 328$ мм	H, м	36	37,5	38	37,5	35	32	27
	N, кВт	9	12	15	18	20	22	24
	$\eta$ , %	0	35	58	69	74	75	71
К 160/30а $D_K = 300$ мм	H, м	31,5	32	31,5	30,5	28,5	24,8	20
	N, кВт	7	9	11	12,5	15	17,1	18,2
	$\eta$ , %	0	39	61	71	72	68	62
К 160/30б $D_K = 275$ мм	H, м	25,5	28	27	24,5	21,2	15,8	12
	N, кВт	4,5	7,2	10	11,1	12,5	13	14
	$\eta$ , %	0	35	61	69	70	65	58
	$H_{вак}^{доп}$ , м	-	-	-	6,6	6,2	5,9	5,3

Д.18. Технічні дані насосів типу К 290/18  
 $n = 1450$  об/хв,  $D_{в.л.} = 200$  мм

$Q$	л/с	0	20	40	60	80	100
	м <sup>3</sup> /ГОД	0	72	144	216	288	360
К 290/18 $D_k = 268$ мм	H, м	20,9	20	21,8	20,8	17,5	13
	N, кВт	6,5	10,1	13,8	15	16,9	17,1
	$\eta$ , %	0	36	64	80	83	70
К 290/18а $D_k = 250$ мм	H, м	17,8	18,4	18	16,8	13,5	10
	N, кВт	5	7,5	10,2	12,5	14	14,6
	$\eta$ , %	0	38	65	79	80	70
	$H_{вак}^{дон}$ , м	-	-	7,5	6,1	5,7	5

Д.19. Технічні дані насосів типу К 290/30  
 $n = 1450$  об/хв,  $D_{e.n.} = 200$  мм

$Q$	л/с	0	20	40	60	80	100
	м <sup>3</sup> /ГОД	0	72	144	216	288	360
К 290/30 $D_k = 315$ мм	H, м	32	33,5	33,5	32	28	23,7
	N, кВт	8	13,2	19	22	28	30
	$\eta$ , %	0	34	62	75	81	72
К 290/30а $D_k = 290$ мм	H, м	26	27	27	26	22,1	13,3
	N, кВт	6,1	10	14,1	18	20,5	22
	$\eta$ , %	0	38	65	76	76	64
	$H_{\text{вак}}^{\text{дон}}$ , м	-	-	7,1	6,5	5,6	4

## Д.20. Абсолютний тиск насичених парів води

t, °C	5	10	20	30	40	60	80
p <sub>н.п.</sub> , кПа	0,87	1,23	2,33	4,3	7,4	20,2	48,2

## Д.21. Відношення модулів пружності води та деяких матеріалів труб

Матеріал труби	E <sub>в</sub> /E
Сталь	0,01
Чавун	0,02
Поліетилен	1...1,5
Гума	120...350

## Список використаних джерел

1. Гідравліка: Навчально-методичний комплекс. Навчально-методичний посібник. / В.І.Дуганець, І.М.Бендера, В.А. Дідур та ін. За ред. В.І. Дуганця, І.М.Бендери, В.А. Дідура. – Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О.В. 2013. – 566 с. URL: <https://cutt.us/tT4oV>.
2. Палишкин Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение. – М.: Агропромиздат, 1990 – 351с.
3. Рогалевич Ю.П. Гідравліка. – К.: Вища школа, 1993. – 255 с.
4. Основные характеристики насосов для воды типа К. URL: <https://cutt.us/pA3AL>.

## Зміст

Загальні положення.....	3
Завдання.....	18
Приклад розрахунку РГЗ.....	20
Додатки.....	25
Список використаних джерел.....	44

Навчальне видання

Методичні вказівки  
до виконання розрахунково-графічного завдання  
Розрахунок насосної установки з консольним насосом

**МОРОЗ** Олександр Миколайович  
**СЕРЕДА** Анатолій Іванович

Формат 60×84/16. Гарнітура Times New Roman  
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.  
Ум. друк. арк. 2,67. Наклад 100 пр.  
ДБТУ  
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44