Розрахунок насосної установки

Мета: Навчитись розв'язувати задачі

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А.Дідур, О.Д.Савченко, Д.П Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 34 - 47).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А.Дідур, О.Д.Савченко, С.І.Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с.(с. 30 - 40).
3. Рогалевич, Ю.П. Гідравліка / Ю.П. Рогалевич; – К.: Вища школа, 1993. – 255 с. (с. 10 - 48).

1. Теоретична частина

1.1 Основні параметри, порядок підбору динамічних насосів

Основними параметрами насосів являються: подача, напір (тиск), потужність, коефіцієнт корисної дії (ККД) і частота обертання.

Подача насоса Q, **м^3/с,** – об'єм або маса рідини, яку насос подає за одиницю часу. Сказане можна виразити формулами

$$Q = W / T \text{ і } Q = M / T, \qquad (1)$$

де W – об'єм; T – час; M – маса.

Крім розмірності витрати, м^3/с, застосовуються й інші (у тому числі й несистемні) – л/с, м^3/г та масові – кг/с, т/г.

***Напір насоса Н*, м,** – це приріст енергії потоку, віднесеної до одиниці ваги рідини, яка проходить через робочий орган насоса.

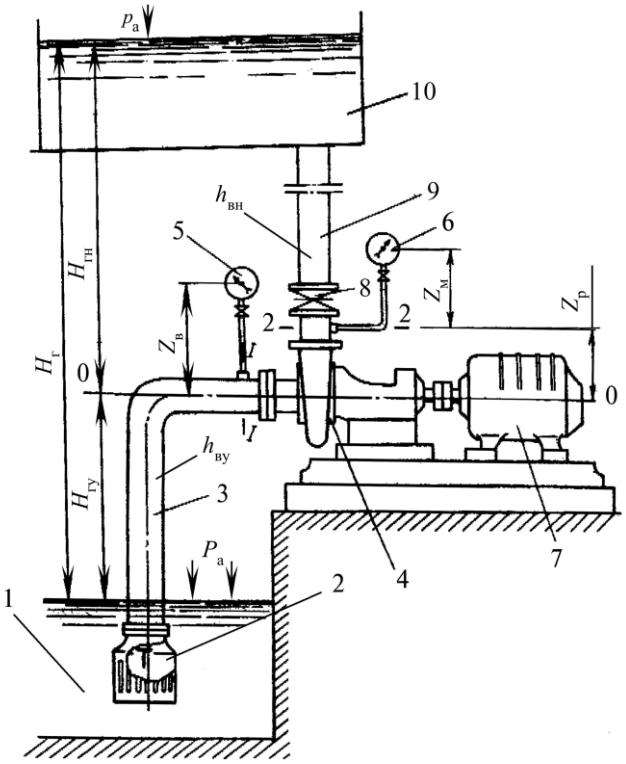


Рис. 1. Схема насосної установки:
1 – джерело; 2 – усмоктувальний пристрій 3 – усмоктувальна труба;
4 – насос; 5 – вакуумметр; 6 – манометр; 7 – електродвигун; 8 – засувка;
9 – напірний трубопровід; 10 – напірний) резервуар

Напір насоса вимірюється в метрах стовпа рідини, яку перекачує насос.

В інженерній практиці розрізняють манометричний (експлуатаційний) і проектний (той, що вимагається) напори.

Манометричний напір встановлюється за показаннями приладів 5 і 6 на діючій насосній установці. (рис. 1).

Для знаходження манометричного напору використаємо рівняння Бернуллі, згідно з яким повна питома енергія визначається по формулі

$$E_{\text{пит пов}} = Z + P/\gamma + \alpha V^2/(2g) = H. \qquad (2)$$

Оскільки з енергетичної точки зору напір насоса являє собою різницю повної питомої енергії на виході і вході насоса, можна записати:

$$H = E_{\text{вих}} - E_{\text{вх}} = H_{\text{вих}} - H_{\text{вх}}. \qquad (3)$$

Позначимо: $P_м$, $P_в$ – тиск, який показують відповідно манометр і вакуумметр, Па; $H_{гу}$, $H_{гн}$ – геометрична (геодезична) висота відповідно усмоктування й нагнітання, м; $H_г = H_{гу} + H_{гн}$ – повна геометрична висота підняття рідини, м; $Z_в$, $Z_м$ – перевищення відповідно вакуумметра й манометра над точкою їхнього підключення, м; $Z_Р$ – різниця рівнів перерізів 1-1 і 2-2 Прийнявши площину порівняння 0-0 на рівні осі насоса, напір у першому перерізі (на вході насоса) буде

$$H_1 = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g}, \tag{4}$$

на виході з насоса –

$$H_2 = \frac{P_2}{\gamma} + Z_Р + \frac{V_2^2}{2g}. \tag{5}$$

Тоді, згідно з рівнянням,

$$H = H_2 - H_1 = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + Z_р + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}. \tag{6}$$

Оскільки $p_1 = p_а - p_в + \rho g Z_в$, а $p_2 = p_а + p_м + \rho g Z_м$, то напір насоса буде дорівнювати:

$$H = \frac{p_м + p_в}{\rho g} + (Z_р + Z_м - Z_в) + + \frac{V_н^2 - V_{ус}^2}{2g}. \tag{7}$$

Замінимо $(Z_р + Z_м - Z_в) = Z$, тоді отримаємо рівняння ***манометричного напору***:

$$H = Z + \frac{P_м + P_в}{\rho g} + \frac{V_н^2 - V_{ус}^2}{2g}, \tag{8}$$

де Z – відстань по вертикалі між точками вимірювання тиску на виході і вході насоса; $V_н$ і $V_{ус}$ – середні швидкості руху рідини в нагнітальному й усмоктувальному патрубках, які можна знайти за формулою

$$V = 4Q/\pi d^2, \tag{9}$$

де d – діаметр відповідно усмоктувального або нагнітального трубопроводу. Для води рекомендуються такі швидкості: в усмоктувальному трубопроводі при діаметрі до 250 мм – 0,7…1,0 м/с, при діаметрі 250…800 мм – 1,0…1,5 м/с; у нагнітальному – при діаметрі до 250 мм – 1,0...1,5 м/с, при діаметрі 250…800 – 1,3…2,0 м/с [1].

Проектний напір встановлюється за проектною схемою насосної установки за залежністю

$$H = H_{\text{г}} + \sum h_{\text{в}}\,, \qquad (10)$$

де $H_{\text{г}}$ – геометрична висота підняття рідини,

$$H_{\text{г}} = H_{\text{гу}} + H_{\text{гн}}\,, \qquad (11)$$

де $H_{\text{гу}}$ – висота усмоктування, $H_{\text{гн}}$ – висота нагнітання; $\sum h_{\text{в}}$ – сума втрат напору в усмоктувальному трубопроводі $h_{\text{ву}}$ і нагнітальному $h_{\text{вн}}$.

Тиск насоса виражається залежністю

$$p = \rho g H\,, \qquad (12)$$

де H – напір насоса.

Таким чином, напір насоса – це тиск, виражений у метрах стовпа рідини, яку перекачує насос.

***Потужність насоса N*, Вт.** Розрізняють корисну і споживану потужності.

Корисна потужність $\boldsymbol{N_{\text{кор}}}$ – це робота, яку виконує насос за секунду при переміщенні одного кубічного метра рідини на шляху, що дорівнює висоті стовпа, на який піднімається рідина. Вона визначається за формулою

$$N_{\text{кор}} = \rho g Q H\,, \qquad (13)$$

де Q – подача; H – напір насоса.

Споживана потужність $\boldsymbol{N_{\text{спож}}}$ – це потужність, яку споживає насос. Вона визначається приладами (за силою струму) і вираховується за формулою

$$N_{\text{спож}} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi \cdot \eta_{\text{дв}}, \qquad (14)$$

де U – лінійна напруга мережі, U = 380 В; I – сила струму, А; cos φ – коефіцієнт потужності (наприклад, φ = 0,89); $\eta_{\text{дв}}$ – коефіцієнт корисної дії (ККД) електродвигуна (наприклад, $\eta_{\text{дв}}$ = 0,86).

Коефіцієнт корисної дії насоса η – це величина співвідношення корисної і споживаної потужностей:

$$\eta = \frac{N_{\text{кор}}}{N_{\text{спож}}}. \qquad (15)$$

***Частота обертання* n, с$^{-1}$,** – це кількість обертів, або ходів робочого органу насоса, за одиницю часу.

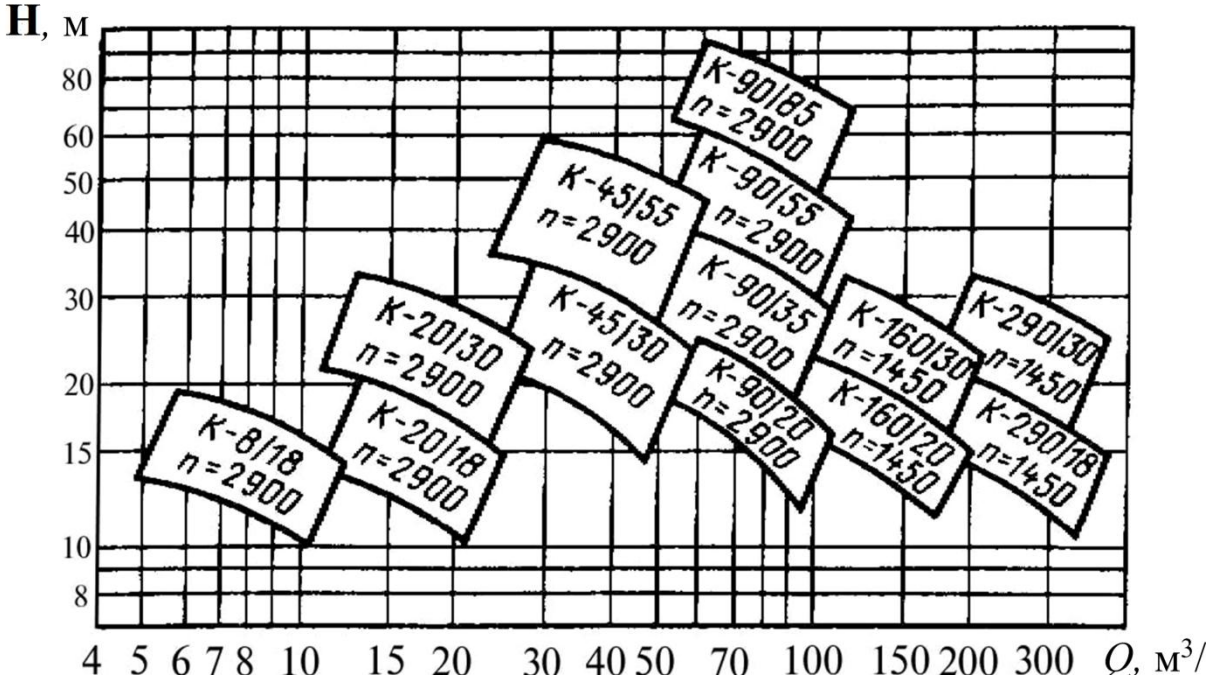
Підбір насосів. Насоси підбираються за двома основними технічними показниками (характеристиками) – напором H і подачею Q.

Підбираються насоси за зведеними таблицями або графіками полів відповідного типу насосів, наприклад насосів типу “К” (рис. 2) [1]. На графіках у координатах Q і H нанесені криволінійні клітини (поля), які обмежують область оптимального застосування за ККД того чи іншого насоса. Верхня лінія кожного з полів відповідає напірній характеристиці базового насоса, нижня – напірній характеристиці насоса з обточеним робочим колесом, бокові лінії відповідають робочій зоні насоса, яка обмежується хвилястими лініями.

Марка насоса, який відшуковується (підбирається), визначається по клітині (полю), в якому перетнуться координати заданих Q і H, в якій би частині поля не опинилася точка їхнього перетину. Наприклад, при необхідних напорі H = 30 м і подачі Q = 30 м^3/год точка перетину координат опиниться в полі насоса К - 45/30, n = 2900(рис. 2), що означає – цей насос слід приймати для цих умов.

Після того, як насос підібраний, робота ведеться з робочими характеристиками його, за допомогою чого встановлюються дійсні

параметри роботи насоса в цих умовах (із заданими трубопроводами), про що



йтиметься в наступному питанню.

Рис. 2. Зведений графік полів насосів типу “К” (КМ)

2. Постановка завдання

Підібрати насос і виконати розрахунок насосної установки (визначити показники її роботи - H, Q, η, N) призначеної для подачі води витратою $Q = 10 л/с$ при температурі до 30^{0}С на висоту $H_г = 30 м$ по трубопроводу із чавунних труб, усмоктуюча частина якого має довжину $l = 20 м$ і діаметр $d = 150 мм$, а напірна – довжину $l = 400 м$ і діаметр $d = 150 мм$. Втрати напору в місцевих опорах прийняти: в усмоктувальній лінії однаковими з втратами напору по довжині, а в напірній лінії – 10% від втрат по довжині (рис. 3).

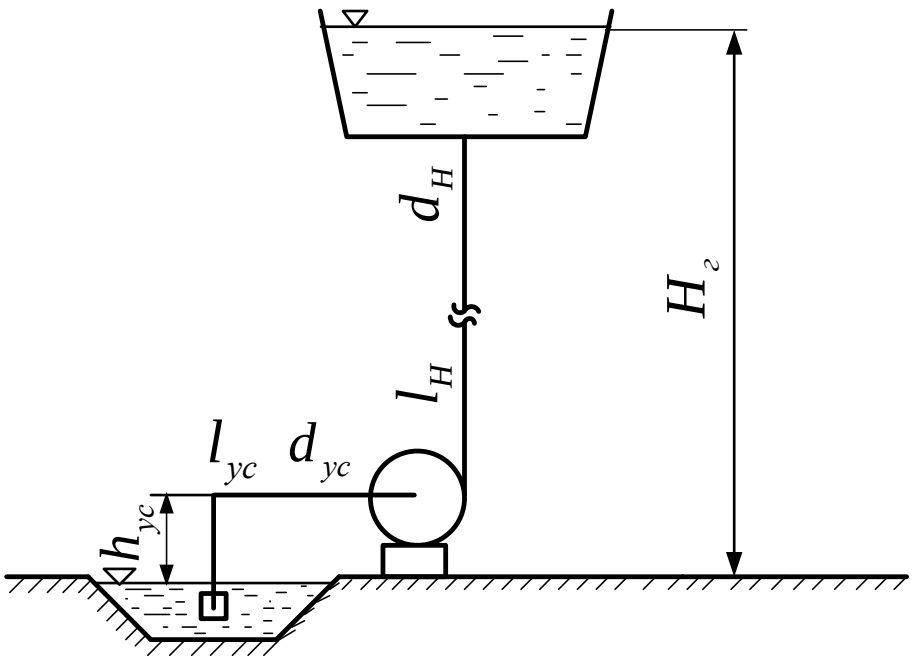


Рис.3. Схема насосної установки.

3. Приклад розв'язку завдання

Керуючись даними по температурі води і проектними технічними показниками насосної установки для даних умов слід прийняти відцентровий консольний насос типу "К". Ці насоси забезпечують напір 14…100 м водяного стовпа і подачу 10…360 л/с.

2. Згідно із заданими подачею $Q = 10 л/с$ і необхідною геометричною (геодезичною) висотою підняття води $H_г = 30 м$ за зведеним графіком полів насосів типу "К", ("КМ") (рис.2) приймаємо насос К45/30 з подачею $Q = 45 м^3/год$ і напором $H = 30 м$, $n = 2900 хв^{-1}$.

3. Знімаємо копію робочих характеристик цього насоса із каталогу [1], або паспорта насоса .

4. Для знаходження дійсних показників роботи насосної установки необхідно сумістити напірні характеристики насоса $H - Q$ і трубопровода $H_T - Q$ (рис.4.).

Для побудови напірної характеристики трубопроводу $H_T - Q$ необхідно визначити декілька її точок.

Як відомо напір в трубопроводі описується рівнянням (1.204) $H_T = H_г + h_в$. Згідно з умовою завдання $H_г = 30м$. Втрати напору $h_в$ визначаються за залежністю.

$$h_в = A \bullet l_p \bullet Q^2 \bullet \beta$$

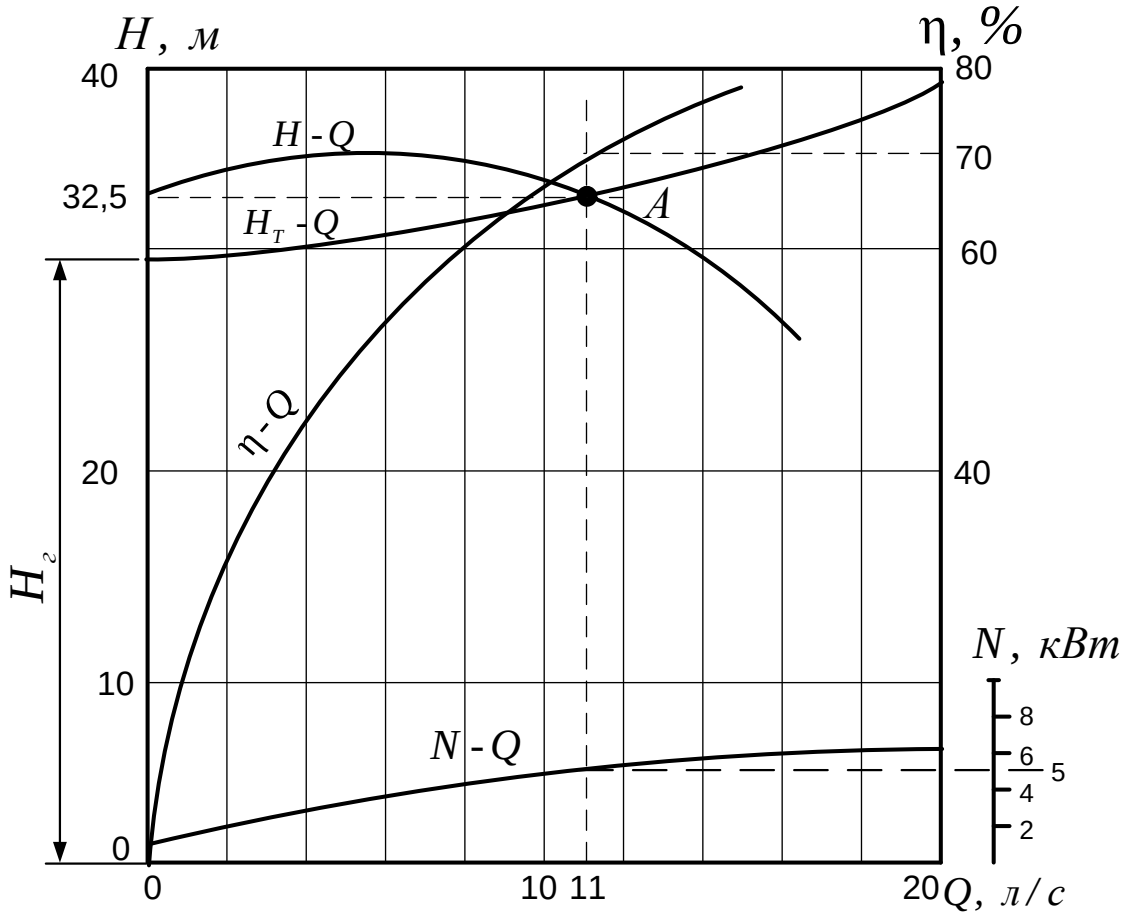


Рис.4 Характеристики сумісної роботи насоса з трубопроводом: А-робоча точка.

Значення параметрів, що входять до цієї залежності встановимо таким чином.

Q - задаємося значеннями 0; 5; 10; 15 л/с;

A - приймемо за табличними даними [1] як функція діаметра і матеріалу трубопровода – 41,9 (с/м^3);

β - приймемо із [1], як функція швидкості $V = 0{,}65 м/с$ - 1,1

$l_р$ - приймемо керуючись умовою завдання. Згідно з яким в усмоктувальному трубопроводі:

$$h_{в_{ус}} = 2h_{дов_{ус}},$$

а в напірному $h_{в_н} = h_{дов_н} + 0{,}1 \bullet h_{дов_н} = 1{,}1 h_{дов_н}$.

Таким чином:

$$l_р = 2l_{ус} + l_н + 0{,}1 \bullet l_н = 2l_{ус} + 1{,}1 \bullet l_н = 2 \bullet 20 + 1{,}1 \bullet 400 = 480 м$$

Підставивши значення параметрів в залежність втрат напору отримаємо

$$h_в = 41{,}9 \bullet 480 \bullet 1{,}1 \bullet Q^2 = 22123 \bullet Q^2$$

Таким чином: $H_Т = H_Г + 22123 \bullet Q^2$

Задаючись вище прийнятими значеннями Q знайдемо відповідні їм значення $H_Т$. Результати розрахунків слід внести в табл.1.

Таблиця 1 - Результати розрахунку напору в трубопроводі $H_Т$

$Q, л/с$	0	5	10	15	20
$h_в, м$	0	0,55	2,2	4,95	8,85
$H_Т, м$	30	30,55	32,2	34,95	38,85

За отриманними значеннями $H_Т$ будуємо напірну характеристику трубопровода $H_Т - Q$ безпосередньо на координатній площині робочих

характеристик насоса (рис. 3) в тому ж масштабі, що і напірна характеристика насоса. Для цього на осі H відкладаємо $H_г = 30м$, а далі від неї будуємо параболу. На перетині напірних характеристик насоса $H - Q$ і трубопровода $H_T - Q$ отримаємо робочу точку A.

5. По відповідним осям (рис. 3) для робочої точки отримаємо наступні значення показників роботи насосної установки : $H = 32{,}5м$; $Q = 1{,}1л/с$; $\eta = 70\% = 0{,}7$; $N = 5кВт$

Висновок - отримані показники роботи насосної установки забезпечують вимоги завдання.

4. Самостійне завдання

Самостійно виконати гідравлічний розрахунок насосної установки згідно поставленого завдання за наступними варіантами – Таблиця 2, варіант вибирається по останній цифрі номера залікової книжки.

Таблиця 2- Вихідні дані для виконання завдання

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_1, мм	20	30	40	45	50	55	60	65	70	75
d_2, мм	10	20	30	35	40	45	50	55	60	65
L_1 ,м	10	20	15	20	10	15	20	10	15	20
L_2 ,м	200	300	400	550	660	400	500	300	200	100
$H_г$, м	30	35	40	445	50	55	60	65	70	75
Q, л/с	30	50	60	70	80	85	90	95	10	15