

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет

О.Г. Добровольська

НАСОСНІ ТА ПОВІТРОДУВНІ СТАНЦІЇ
Методичні вказівки до практичних занять
для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

Затверджено
вченою радою ЗНУ
Протокол №1 від
02.10.2020 р.

Запоріжжя
2020

УДК 628.1/.2(075)

Д 560

Добровольська О.Г. Насосні та повітродувні станції
: методичні вказівки до практичних занять для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія». Запоріжжя : ЗНУ, 2020. 26 с.

В методичних вказівках до практичних занять з дисципліни «Насосні та повітродувні станції» представлені завдання, які допоможуть майбутнім фахівцям самостійно вирішувати питання з проєктування роботи насосних станцій, застосовувати нормативні документи (ГОСТ, ДБН та ін.), науково-технічну літературу; аналізувати і приймати рішення відносно вибору найбільш оптимального варіанту вибору насосного обладнання. Містить ілюстративний (рисунки, схеми) і табличний матеріали.

Для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Рецензенти :

В. А. Банах, доктор технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи та технічної освіти Запорізького національного університету.

Г. І. Благодарна, кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та очистки вод Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова.

Відповідальний за випуск :

А. В. Банах, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри міського будівництва та господарства.

Практичне заняття 1

ВИВЧЕННЯ НОМЕНКЛАТУРИ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ

Мета заняття набуття навичок і умінь з підбору насосного обладнання різного типу.

Питання для повторення

1. Що таке насос? Принципи дії насосу.
2. Класифікація насосів.
3. Якими технічними параметрами характеризується робота насосу?
4. Від чого залежать подача і напір насосу і як вони впливають на конструкцію насосу?
5. Старе і нове маркування насосів.
6. Схема установки відцентрового насосу. Для чого служить кожний елемент установки?

Задача. По збірному графіку підібрати насоси, які можуть забезпечити напір і подачу згідно з даними табл.1

Таблиця 1 - Вихідні дані до практичного заняття №1

Номер варіанту	Подача, л/с	Напір, м	Номер варіанту	Подача, л/с	Напір, м
1	40	30	14	800	35
2	20	40	15	700	30
3	15	20	16	650	25
4	10	40	17	180	40
5	5	25	18	120	25
6	3	25	19	85	15
7	50	50	20	67	40
8	100	90	21	145	20
9	90	60	22	32	10
10	80	15	23	220	30
11	70	40	24	330	60
12	150	30	25	55	60
13	500	80			

Практичні заняття №2-3

АНАЛІЗ ЗАЛЕЖНОСТІ НАПОРУ І ПОДАЧІ НАСОСА ВІД МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОБОЧОГО КОЛЕСА

Питання для повторення

1. Який рух виконує рідина в робочому колесі насосу? Як при цьому визначаються швидкості і їх проекції?
2. Записати і пояснити основне рівняння відцентрового насоса.
3. З яких складових частин складається теоретичний напір відцентрового насоса?

Мета заняття набуття навичок і умінь з визначення механічних характеристик насосного обладнання.

Умови задач

- 1.Збудувати область зміни переносної швидкості на виході із робочого колеса $U_2=f(n)$ при зміні діаметру від D_2' до D_2 (табл..2).
- 2.Визначити число обертів робочого колеса насоса, якщо відомо, що число обертів n переносна швидкість на виході із колеса U_2 (табл. 2).
- 3.Визначити число обертів робочого колеса діаметром D_2 , якщо переносна швидкість на виході із нього U_2 (табл. 2).
- 4.Визначити теоретичну подачу насоса з робочим колесом діаметром D_2 , і шириною лопатки на виході із робочого колеса b_2 , якщо число обертів n , коефіцієнт, який враховує стиснення площі виходу лопатками робочого колеса $\varphi_2 = 0,9$, а кути між відповідними швидкостями на виході із робочого колеса α_2 і β_2 (табл.2).
- 5.Визначити теоретичний напір насоса, коли відомо, що діаметр робочого колеса на вході D_1 , на виході із нього D_2 , частість обертання n , швидкість на вході в робоче колесо C_1 , а кути між відповідними швидкостями на вході і на виході із робочого колеса α_1 і β_1 (табл.2).

Таблиця 2 - Вихідні дані до практичних занять №№2 і 3

Но- мер варі- анту	Діа- метр коле- са D_1 ,мм	Діа- метр коле- са D_2 мм	Ши- рина лопат- ки b_2 ,мм	Кіль- кість обер- тів n об/хв	α_1 , град	β_1 град	U_2 м/с	D_1 мм	α_2 град	β_2 град	C_1 м/с
1	1600	360	60	1450	12	15	18	150	12	30	0.8
2	550	405	65	980	11	25	9	120	20	45	1.0
3	570	200	37	2900	10	27	12	200	25	30	0.9
4	553	250	40	1450	8	16	14	200	22	40	1.2

5	405	250	21	980	14	30	10	150	12	35	0.8
6	350	600	20	2900	9	40	13	120	15	40	1.5
7	525	300	24	1450	13	35	16	180	25	30	1.0
8	380	600	27	980	11	30	15	110	22	45	0.9
9	190	450	23	2900	8	33	11	60	25	45	1.2
10	204	480	41	1450	10	35	17	80	15	32	0.9
11	180	400	40	980	12	27	8	90	20	40	1.3
12	192	400	24	2900	14	28	17	90	25	45	0.9
13	105	350	20	1450	9	29	12	40	22	32	1.2
14	115	300	37	980	11	17	10	40	12	28	1.0
15	162	300	35	2900	8	20	11	50	22	38	0.8
16	148	380	40	1450	14	24	12	50	25	40	1.4
17	168	320	44	980	11	26	14	500	20	36	0.9
18	315	520	30	2900	12	19	16	100	12	36	1.4
19	290	500	21	1450	13	18	15	100	15	30	0.8
20	128	250	61	980	9	27	16	40	25	45	1.0
21	204	400	53	2900	10	29	10	70	22	45	1.4
22	360	520	62	1450	8	36	14	130	12	34	0.9
23	185	450	41	980	11	40	10	70	220	42	1.5
24	170	340	57	2900	14	39	14	60	17	38	1.3
25	106	400	38	1450	13	37	11	35	15	27	0.8

Продовження таблиці 2

C_2 м/с	Q , м ³ /с	H , м	h , м	η_o , %	B , МПа	M , МПа	Z , м	$\square Q$, л/с	$\square N$, %	η_o , %
20	1.2	30	2.0	97	0.05	0.3	0.5	60	2	90
50	1.4	35	3.5	95	0.04	0.35	1.5	65	4	91
40	1.6	25	3.0	96	0.03	0.25	1	70	5	92
50	0.5	24	3.0	97	0.02	0.30	2	25	3	93
30	0.3	40	3.5	95	0.04	0.50	2.5	15	1	94
60	0.6	15	2.0	96	0.02	0.4	0.5	30	3	95
60	1.4	46	3.0	95	0.05	0.2	2.5	65	4	90
30	0.2	20	2.5	96	0.02	0.7	1.5	10	3	91
40	0.1	30	2.5	95	0.03	0.3	2	5	2	92
20	0.5	70	7.0	96	0.02	0.35	1	25	5	93
60	0.3	30	3.0	95	0.05	0.25	2	15	2	94
50	0.6	35	3.0	95	0.03	0.15	0.5	30	3	95
40	0.6	60	6.2	96	0.04	0.45	2.5	30	4	90
30	0.2	45	5.7	95	0.05	0.46	1	10	2	91
20	0.4	15	2.0	94	0.04	0.2	2.5	20	5	92
40	0.1	45	3.5	95	0.02	0.3	1.5	5	3	93
20	1.4	62	6.5	95	0.03	0.3	2	65	2	94
60	1.6	45	3.5	97	0.05	0.35	1	70	3	95
500	0.2	50	4.2	94	0.02	0.6	1.5	10	2	90
40	0.4	80	7.5	96	0.04	0.45	2.5	20	4	91
30	0.7	15	2.0	95	0.03	0.15	1.5	35	5	92
30	1.0	17	2.5	95	0.04	0.45	0.5	50	3	93
20	0.2	80	7.5	96	0.04	0.65	2	10	5	94
60	0.7	40	5.0	96	0.05	0.45	1	35	2	95
40	1.0	45	3.8	95	0.03	0.5	0.5	50	4	90

Приклади розв'язання типових задач

Перший тип задачі. Дано: $D_2'=200\text{мм}$, $D_2=500\text{мм}$. Збудувати область зміни переносної швидкості на виході із робочого колеса $U_2=f(n)$ при зміні діаметру від D_2' до D_2 .

Розв'язання

Переносна швидкість на виході із робочого колеса визначається залежністю

$$U_2 = \frac{\pi D_2 n}{60} \quad (2.1)$$

При

$$\frac{\pi D_2 n}{60} = K = \text{const}$$

Як видно з останньої формули, при постійному діаметрі залежність $U_2=f(n)$ буде описувати пряму, яка проходить через початок координат. Для діаметрів D_2' і D_2 одержимо дві прямі, які виходять з початку координат. Тоді область зміни переносної швидкості буде знаходитись між цими прямими (рис.2.1).

Другий тип задачі. Дано: $n=720$ об/хв., $U_2=12\text{м/с}$. Визначити діаметр робочого колеса насоса.

Розв'язання

Виходячи з формули (2.1), знаходимо

$$D_2 = \frac{60 U_2}{\pi \cdot n} \quad (2.2)$$

Підставляючи вихідні дані в формулу (2.2), одержимо

$$D_2 = \frac{60 \cdot 12}{3.14 \cdot 720} = 0.32\text{м}$$

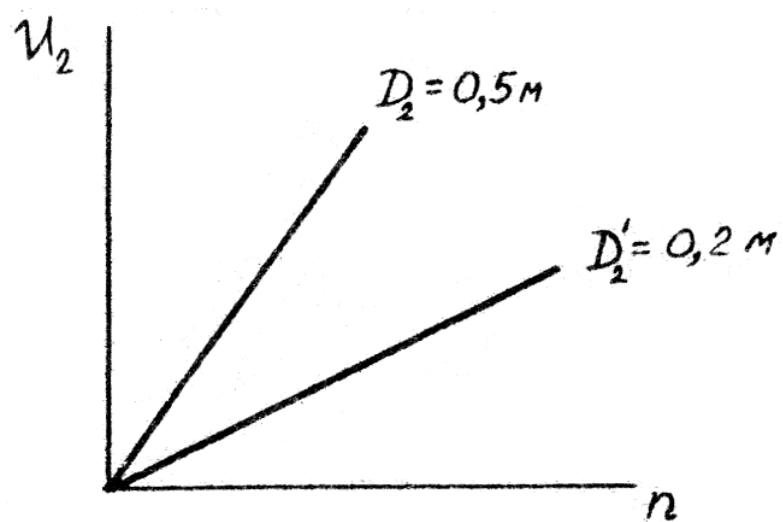


Рис. 2.1

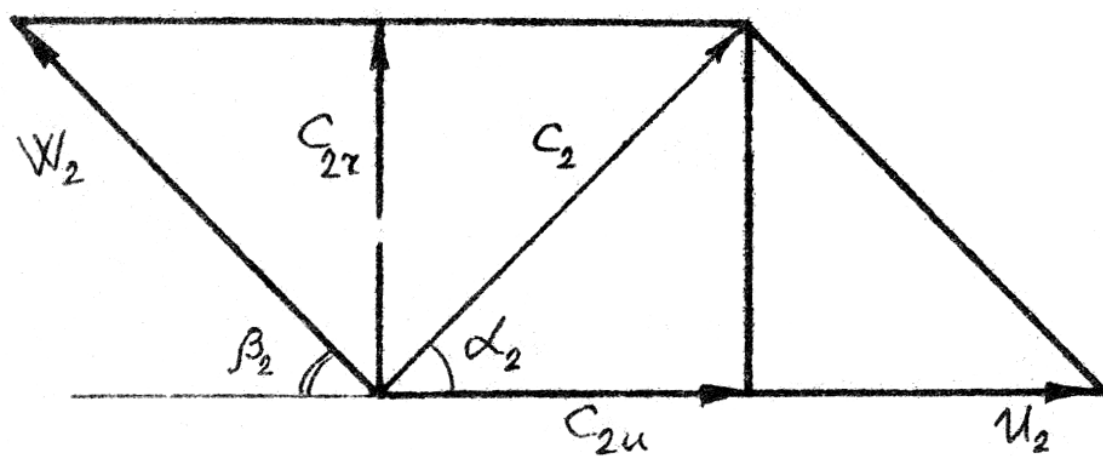


Рис. 2.2

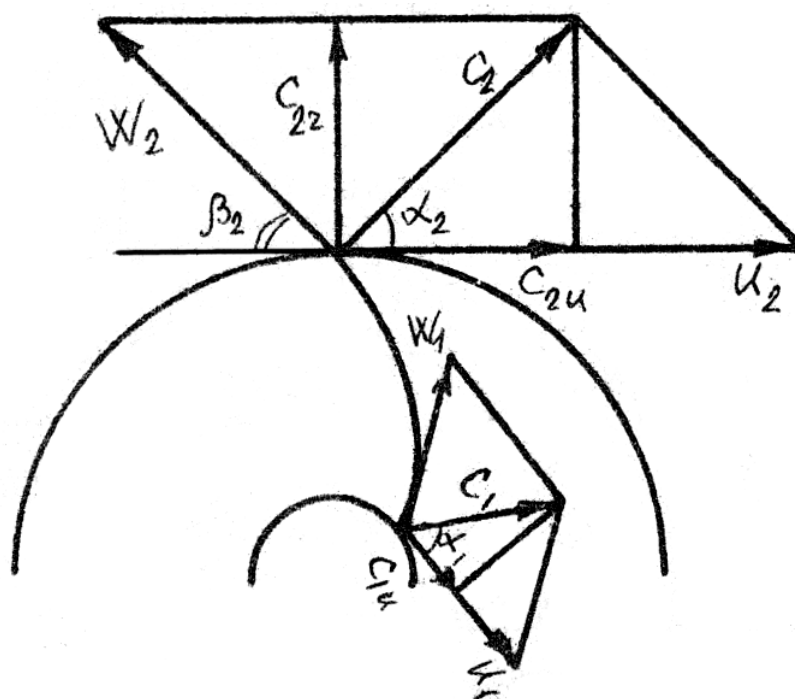


Рис. 2.3

Третій тип задачі. Дано: $D_2=400\text{мм}$, $U_2=14\text{ м/с}$. Визначити число обертів робочого колеса.

Розв'язання

Виходячи з формули (2.1), знаходимо

$$n = \frac{60 \cdot U_2}{\pi \cdot D_2} \quad (2.3)$$

Підставляючи вихідні дані в формулу (2.3), одержимо

$$n = \frac{60 \cdot 14}{3.14 \cdot 0.4} = 669 \text{ об/хв}$$

Четвертий тип задачі. Дано: $D_2=200\text{мм}$, $b_2=20\text{мм}$, $n=720\text{ об/хв}$, $\Psi_2=0.9$, $\alpha_2=45^\circ$, $b_2=45^\circ$. Визначити теоретичну подачу насоса.

Розв'язання

Теоретична подача насоса

$$Q = \pi D_2 b_2 \Psi_2 C_{2r}, \quad (2.4)$$

де C_{2r} – радіальна складова абсолютної швидкості.

1.2 Швидкість C_2 можна знайти, якщо врахувати, що при кутах $\alpha_2=\beta_2=45^\circ$ (рис. 2.2) $C_2=W_2$. Тоді висота трикутника рівна C_{2r} і буде також медіаною. Отже,

$$C_{2r} = U_2 / 2 = \pi \cdot D_2 \cdot n / (60 \cdot 2) = 3.14 \cdot 0.2 \cdot 720 / 120 = 3.76 \text{ м/с}$$

Теоретична подача насосу

$$Q = 3.14 \cdot 0.2 \cdot 0.02 \cdot 0.9 \cdot 3.76 = 0.0425 \text{ м}^3 / \text{с}$$

П'ятий тип задачі. Визначити теоретичний напір насоса, коли відомо, що $D_2=0.3\text{м}$, $D_1=0.1\text{м}$, $n=1200\text{об/мин}$, $\alpha_1=60^\circ$, $\alpha_2=45^\circ$, $b_2=45^\circ$, $C_1=1.5\text{м/с}$.

Розв'язання

Теоретичний напір (паралелограми швидкостей на вході і на виході з робочого колеса приведені на рис. 2.3)

$$H = (U_2 C_{2n} - U_1 C_{1u}) / g \quad (2.5)$$

Переносна швидкість визначається залежністю

$$U = \pi D n / 60$$

Тоді

$$U_2 = 3.14 \cdot 0.3 \cdot 1200 / 60 = 18.84 \text{ м/с}$$

$$U_1 = 3.14 \cdot 0.1 \cdot 1200 / 60 = 6.28 \text{ м/с}$$

Як і в попередній задачі

$$C_{2u} = C_{2r} = U_2 / 2 = 18.84 / 2 = 9.42 \text{ м/с.}$$

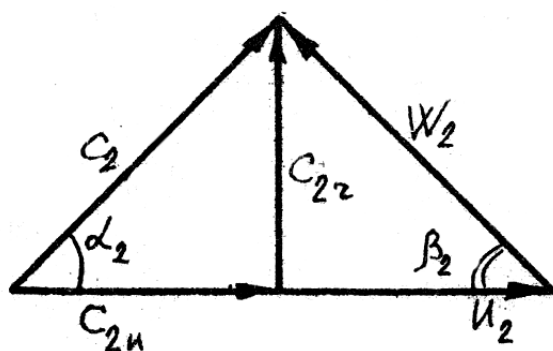
Проекція абсолютної швидкості на переносну на вході в робоче колесо дорівнює

$$C_{1u} = C_1 \cos \alpha_2 = 1.5 \cdot 0.5 = 0.75 \text{ м/с}$$

Підставляючи одержані значення для швидкостей в рівняння, знайдемо

$$H = (18,84 \cdot 9,42 - 6,28 \cdot 0,75) \cdot 9,8 = 17,61 \text{ м/с},$$

на виході



на вході

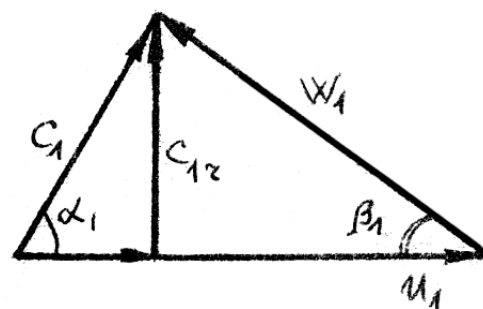


Рис. 2.4

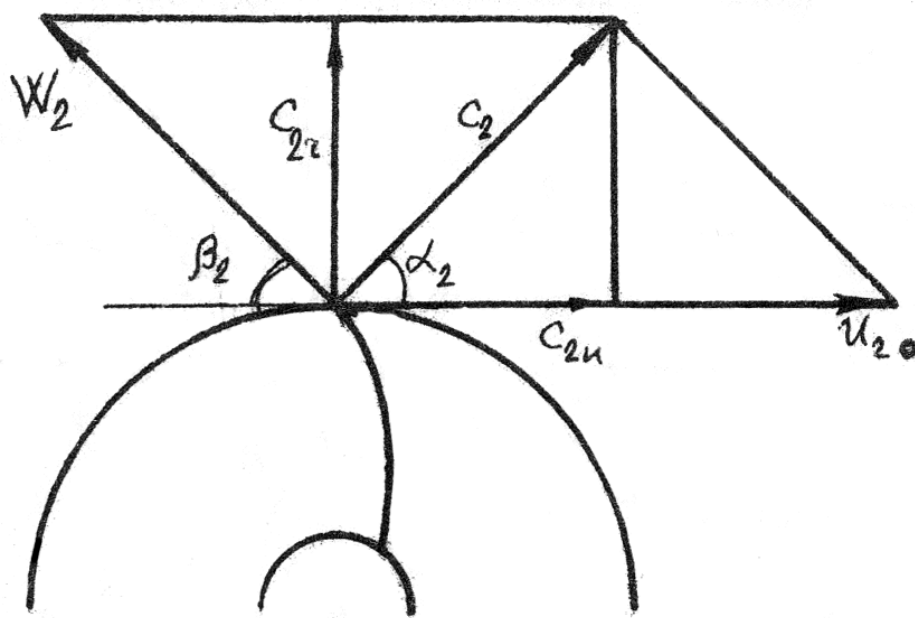


Рис. 2.5

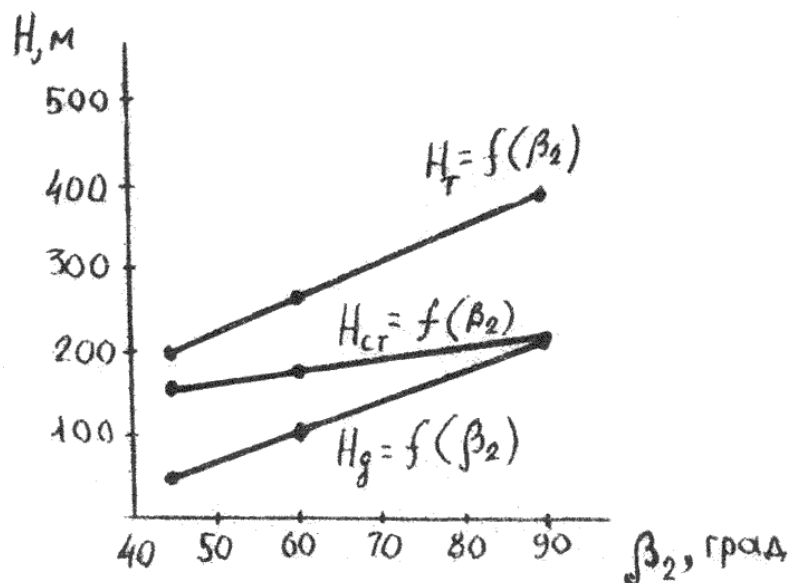


Рис. 2.6

Практичні заняття №4-5

РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ ПРОМИВКИ САМОПЛИВНИХ І СИФОННИХ ЛІНІЙ

Питання для повторення

- Чим відрізняється промивка зворотним током води від промивки прямим током води?
- Як видаляється повітря з сифонної лінії?
- З якою метою при зворотній промивці самопливних і сифонних ліній в береговому колодязі встановлюють напірну колону?
- Що таке гідроімпульсна промивка і як вона організується?

Мета заняття набуття навичок і умінь з розрахунків режимів промивки самопливних і сифонних ліній.

Задача №1. Визначити мінімальну швидкість води в самопливній лінії при її промивці для того, щоб з труби діаметром D вимити частинки діаметром d . Чисельні значення вихідних величин прийняти по додатку А.

Задача №2. Розрахувати і побудувати графік залежності необхідної витрати води при промивці самопливної лінії Q для вимиву частинок діаметром d з трубопроводу діаметром D , тобто $Q=f(d)$ при $D=const$. Чисельні значення вихідних величин прийняти по додатку А.

Вказівки до розв'язування задачі №2

Щоб побудувати графік залежності $Q=f(d)$ необхідно скласти таблицю за формою табл.1.

Таблиця 1 - Розрахунок залежності $Q=f(d)$

Середньозважений діаметр частинок наносів, які промиваються, $d \times 10^4$ м	0.5	1	5	10	20
Розрахункова швидкість води, м/с					
Витрата води, м ³ /с					

Для спрощення розрахунку таблиці залежність необхідної швидкості води для вимивання частинок наносів діаметром d з труби діаметром D доцільно представити в вигляді

$$v = 7.5 (D d)^{0.25} = 7.5 D^{0.25} d^{0.25} = C_1 d^{0.25},$$

де $C_1=7.5D^{0.25}$ - постійна величина для діаметра, який розглядається.

Формулу, яка пов'язує витрату і швидкість води, також доцільно представити у вигляді

$$Q=v \frac{\pi D^2}{4} = C_2 v,$$

де $C_2= \frac{\pi D^2}{4}$ - постійна величина для діаметра, який розглядається.

Графік $Q=f(d)$ дозволяє оцінити, які частини наносів можна вимити з самопливної лінії при тій витраті води, що її може забезпечити насосна станція I підйому.

Задача №3. Визначити швидкість руху води в самопливній лінії на початку і в кінці її прямої промивки. Самопливна лінія характеризується діаметром D , довжиною L , з питомим опором S_c і сумою коефіцієнтів місцевих опорів $\sum \xi=7$. Продуктивність водозабору q_p . Чисельні значення вихідних величин прийняти по додатку А.

Вказівки до розв'язування задачі №3

При прямій промивці спочатку закривається одна із самопливних ліній, а вся витрата подається у вхідну камеру по другій лінії. При цьому збільшення втрат напору в самопливній лінії призводить до зниження рівня води у вхідній камері. Після цього відкривається закрита лінія, і рівень води у вхідній камері підіймається до рівня, який підтримується при нормальній роботі. За рахунок збільшеної витрати осад з самопливних ліній вимивається у вхідну камеру. Таким чином, найменша швидкість в самопливній лінії буде спостерігатися при нормальній роботі водозабору.

$$v_{\min} = \frac{4q_p}{2\pi D^2} = \frac{2q_p}{\pi D^2},$$

Втрати напору в самопливній лінії при пропусканні по ній повної витрати визначаються за формулою

$$h = S_c L q_p^2 + \sum \xi \frac{v^2}{2g} = S_c L q_p^2 + \sum \xi \frac{2q_p^2}{g\pi D^2}.$$

При цьому швидкість в самопливній лінії, яка працює, буде рівною

$$v = 2 v_{\min}.$$

Після відкривання закритої самопливної лінії по кожній з них буде проходити повна витрата q_p тому, що вона буде визиватися різницею рівнів в джерелі і в вхідній камері, яка дорівнює h . Таким чином, при прямій промивці у вхідну камеру спочатку почне надходити витрата $2q_p$ зі зменшенням її в кінці промивки до величини q_p . Тоді максимальна швидкість води в самопливних лініях при прямій промивці буде рівною $2v_{\min}$.

Задача №4. Для умов задачі №40 розрахувати і побудувати графік зміни витрати води, яка надходить з джерела по одній із самопливних ліній до вхідної камери водозабору на протязі прямої промивки.

Вказівки до розв'язування задачі №4

За термін прямої промивки витрата по кожній з самопливних ліній зменшується від витрати q_p до витрати $q_p/2$. Графік зміни цієї витрати можна

побудувати на основі формули сумарних втрат напору в самопливній лінії, представивши її у вигляді $q_i=f(h_i)$, тобто

$$S_c L q_i^2 + \sum \xi \frac{2q_i}{g\pi D^2} - h_i = 0$$

або

$$q_i^2 + \sum \xi \frac{2q_i}{g\pi D^2 S_c L} - \frac{1}{S_c L} h_i = 0.$$

звідки

$$q_i = -\frac{\sum \xi}{g\pi D^2 S_c L} \pm \sqrt{\left(\frac{\sum \xi}{g\pi D^2 S_c L}\right)^2 + \frac{h_i}{S_c L}} = -a \pm \sqrt{a^2 + b h_i}.$$

$$a = \frac{\sum \xi}{g\pi D^2 S_c L}$$

де a - постійна величина для тієї самопливної лінії, яка

розглядається;

$$b = \frac{1}{S_c L}$$

- постійна величина для тієї ж самопливної лінії.

Для побудови графіка доцільно, задаючись величинами h_i , визначити витрати q_i . Розрахунки зводяться в таблицю 3. Величини повинні охоплювати діапазон змін втрат напору при витратах від q_p до $q_p/2$.

Таблиця 2 - Розрахунок залежності $q_i=f(h_i)$ при $D=\text{const}$, $L=\text{const}$

Втрати напору в самопливній лінії, м	h_1	h_2	...	h_n
Витрата по самопливній лінії, м ³ /с	q_1	q_2	...	q_n

Задача №5. Визначити, яка швидкість руху води буде в самопливному трубопроводі на початку його промивки гідроімпульсним

способом зворотним током води. Висота напірної колони H_k , діаметр самопливної лінії D , довжина L , питомий опір S_c , сума коефіцієнтів місцевого опору $\Sigma \xi = 6$, вихід води з оголовку знаходиться нижче рівня води в джерелі на 1м, а низ колони - на рівні води в джерелі. Чисельні значення величин прийняти по додатку А.

Вказівки до розв'язування задачі №5

Швидкість руху води в трубопроводі на початку його промивки буде визначатися витратою води в ньому. Остання пов'язана з втратами напору в самопливному трубопроводі і описується залежністю, яка розглянута в задачі №41. При цьому максимальні втрати напору дорівнюють

$$h_c = H_k \pm \Delta Z - h_{вих},$$

де ΔZ - різниця між рівнем води в джерелі і низом напірної колони,
 $\Delta Z = 0$ (за умовами задачі);

$h_{вих}$ - занурення виходу води з оголовку під рівень води в джерелі.

Виходячи з максимальних втрат напору h_c , обчислити $q_{i \text{ макс}}$, а потім $v_{\text{макс}}$ за формулою

$$v_{\text{макс}} = \frac{4 q_{i \text{ макс}}}{\pi D^2}.$$

Практичні заняття № 6-7

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ І ПІДЙОМУ З ПІДЗЕМНОГО ДЖЕРЕЛА

Питання для повторення

Запитання для самоконтролю засвоєння матеріалу, який вивчається:

1. Які види підземних вод використовуються для водопостачання?
2. Чим принципово відрізняються окремі види підземних водозаборів один від одного?
3. Які складові частини фільтрів для свердловин і в чому їх призначення?

4. Чим щільові фільтри відрізняються від дірчастих?

Мета заняття – ознайомитись з номенклатурою насосного обладнання насосної станції 1 підйому з підземного джерела, набути навичок і умінь з визначення продуктивності насосної станції 1 підйому з підземного джерела

Задача №1. Визначити загальну продуктивність водозабору з підземного джерела, яке знаходиться на значній відстані від поверхневого джерела. Водозабір включає 5 свердловин, які розташовані в один ряд на відстані 2σ одна від одної. Свердловини досконалі, діаметр кожної 200мм, потужність водоносного горизонту $H_{рів}$, коефіцієнт фільтрації K_f , радіус впливу R , напір водоносного шару 20м, а втрати напору на вході в свердловину 4м. Чисельні значення вихідних величин прийняти по додатку А.

Розв'язування типової задачі

Нехай відомо, що $2\sigma=70\text{м}$, $K_f=40\text{м/добу}$, $R=150\text{м}$, $H_{рів}=9,5\text{м}$, $H_{в.ш}=20\text{м}$, $H_f=5\text{м}$, $d_f=200\text{мм}$, $n_{св}=5$.

Допустиме значення статичного рівня орієнтовно визначається за формулою

$$S = H_{в.ш} - 0,5H_{рів} - H_f = 20 - 0,5 \times 9,5 - 5 = 10,25 \text{ м}.$$

Приведений радіус лінійного водозабору буде

$$r_{np} = 0,37 l,$$

де l - половина довжини ряду свердловин

$$l = 2 \sigma (n_{св} - 1),$$

$n_{св}$ - кількість свердловин

$$l = 70 (5 - 1) = 280 \text{ м.}$$

Тоді

$$r_{np} = 0,37 \times 280 = 103,6 \text{ м.}$$

Загальна продуктивність водозабору визначається за формулою

$$Q_{заг} = \frac{2,73 K_{\phi} m S}{\lg \frac{R}{r_{np}} + \frac{1}{n_{св}} \lg \frac{\sigma}{\pi r_0}},$$

де m – потужність водоносної породи, $m = H_{пів} = 9,5 \text{ м}$;

σ – половина відстані між свердловинами, $\sigma = 35 \text{ м}$.

$$Q_{заг} = \frac{2,73 \times 40 \times 9,5 \times 10,25}{\lg \frac{150}{103,6} + \frac{1}{5} \lg \frac{35}{3,14 \times 0,1}} = \frac{10633,35}{0,16 + 0,41} = 18655 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Задача №2. Визначити загальну продуктивність водозабору за умовами задачі №69, якщо свердловини розміщуються по колу.

Розв'язування типової задачі

Якщо свердловини розміщені по колу, приведений радіус буде дорівнювати радіусу кільця свердловин, тобто

$$r_{np} = R_0 = \frac{5 \times 70}{2\pi} = 55,7 \text{ м.}$$

Тоді

$$Q_{заг} = \frac{2,73 \, m K S}{\lg \frac{R}{r_{np}} + \frac{1}{n_{св}} \lg \frac{\sigma}{\pi r_0}} = \frac{2,73 \times 9.5 \times 40 \times 10.25}{\lg \frac{150}{55.7} + \frac{1}{5} \lg \frac{35}{3.14 \times 0.1}} = \frac{10633.35}{0.43 + 0.41} = 12659$$

м³/добу.

Практичне заняття № 8

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ

Питання для повторення

1. Визначити робочі характеристики відцентрового насоса. Який вигляд і чому повинна мати теоретична Q-H характеристика?
2. Чим пояснюється кривизна робочої характеристики насоса? Види робочих характеристик.
3. Аналітичний опис робочої характеристики відцентрового насосу.
4. Методика побудування сумарних робочих характеристик групи насосів, працюючих послідовно і паралельно.

Мета заняття – набути навички і уміння з аналітичного визначення характеристик відцентрових насосів.

Умови задач

1. Описати аналітично криву Q-H водопровідного насоса з характеристикою, відповідною насосу, приведеному в табл. 3.
2. Визначити аналітичні параметри робочої точки для насоса, приведеного в табл. 3, якщо геометрична висота підйому дорівнює H_g , а опір водоводу S_v .

3. Побудувати графік і описати аналітично характеристику групи двох паралельно працюючих насосів з характеристиками, які мають відповідні насоси, приведені в табл. 3.

4. Для умов попередньої задачі 3 визначити графічно параметри робочих точок насосів при їх паралельній роботі в групі, а також при самостійній роботі одного насоса, якщо геометрична висота підйому дорівнює H_T , опір одного водоводу S_v , а кількість водоводів - 2.

5. Побудувати графік і описати аналітично характеристику групи двох послідовно працюючих насосів з характеристиками, які мають відповідні насоси, приведені в табл. 3.

Приклади розв'язання типових задач

Перший тип задачі . Дві точки графіка мають показники: перша точка $Q_1 = 2,6$ л/с, $H_1 = 30$ м; друга – $Q_2 = 6,2$ л/с, $H_2 = 25$ м. Описати цю характеристику аналітично.

Розв'язання

Загальна формула характеристики Q-H має вигляд

$$H = a - bQ^2$$

Щоб визначити коефіцієнти a і b , знаходимо по характеристиці Q-H напори H_1 і H_2 , відповідні подачам Q_1 і Q_2 , одержимо систему рівнянь.

$$\begin{cases} H_1 = a - bQ_1^2 \\ H_2 = a - bQ_2^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 30 = a - b2,6^2 \\ 25 = a - b6,2^2 \end{cases}$$

З цієї системи знаходимо, що

$$b = 31,7$$

$$v=5/31,7=0,16$$

$$a=30+0,16 \cdot 20,6^2=31,1\text{м}$$

Другий тип задачі. Для насоса, приведенного в попередній задачі, визначити аналітично параметри робочої точки, якщо $H_r=20\text{м}$, а $S_b=0.25$ (для витрати в л/с).

Розв'язання

Аналітичне рівняння, яким описується характеристика водоводу, матиме вигляд

$$H = H_r + SQ^2$$

$$H = 20 + 0.25Q^2$$

Параметри робочої точки визначаються рішенням систем рівнянь

$$\begin{cases} H = 31.1 - 0.16Q^2 \\ H = 20 + 0.25Q^2 \end{cases}$$

$Q=5.2\text{л/с}$, а $H = 26,76\text{м}$.

Третій тип задачі. Відомі параметри двох точок характеристики насоса: першої $Q_1=2.6\text{л/с}$, $H_1=30\text{м}$; другої $Q_2=6.2\text{л/с}$ і $H_2=25\text{м}$. Побудувати графік і описати аналітично характеристику двох паралельно працюючих насосів.

Розв'язання

Аналітичне описання характеристики одного насоса має вигляд

$$H = a + vQ^2$$

При паралельній роботі напір залишається постійним, а подача збільшується в два рази. Тоді характеристика двох однакових паралельно працюючих насосів, описана через напір і подачу одного насоса, буде мати вигляд

$$H = a - b / (2Q^2) = a - 4bQ^2$$

Допустимо, що при $H_1=30\text{м}$, $Q_1=2.6\text{л/с}$, а при $H_2=25\text{м}$, $Q_2=6.2\text{л/с}$. Тоді одержимо систему рівнянь

$$30 = a - 4b \cdot 2,6^2$$

$$25 = a - 4b \cdot 6,2^2$$

Звідки

$$5=126,8b; \quad b=0,04; \quad a=31,1$$

Тоді

$$H=31,1 - 0,04Q^2$$

Побудувати графічно сумарну характеристику двох паралельно працюючих насосів і нанести для перевірки на неї 4...5 точок, обчислених по аналітичному рівнянню.

Четвертий тип задачі. За умовами попередньої задачі визначити графічно параметри робочих точок насосів при їх паралельній роботі в групі, а також при самостійній роботі одного насоса, якщо геометрична висота підйому $H_T=20\text{м}$, опір одного водоводу $S_B=0,25$ (для витрати 8 л/с, а кількість водоводів – 2)

Розв'язання

Характеристика сумісної роботи двох паралельно працюючих насосів будується за загальними правилами (див. лекції і підручники).

Щоб визначити, де будуть робочі точки, необхідно на графік нанести характеристики одного і двох водоводів. Характеристика одного водовода визначається рівнянням.

$$H = 20 + 0.25Q^2$$

Характеристику двох водоводів можна одержати, якщо абсциси для різних висот подвоїти.

Точки перетину відповідних характеристик насосів і водоводів будуть робочими точками, параметри котрих визначаються по графіку.

П'ятий тип задачі Описати аналітично характеристику групи двох послідовно працюючих насосів з характеристиками кожного за умовами третього типу задачі.

Розв'язання

При послідовній роботі двох насосів напір збільшується в 2 рази, а подача не змінюється. Тоді рівняння, яке описує таку роботу насосів, буде мати вигляд

$$2H = a - vQ^2$$

Тоді, якщо взяти насоси, приведені в попередній задачі, одержимо систему рівнянь

$$\begin{cases} 60 = a - v \cdot 2,6^2 \\ 50 = a - v \cdot 2,6^2 \end{cases}$$

Розв'язуючи цю систему, одержимо

$$10 = 31,7v$$

$$v = 0,32$$

$$a = 62,2$$

Таким чином, рівняння, яке описуватиме послідовно роботу розглянутих насосів, матиме вигляд

$$H = 62,2 - 0,32Q^2$$

Практичне заняття №9

Визначення робочих характеристик насосів другого підйому

Питання для повторення

1. Яку можливість дає обладнання насосних станцій відцентровими насосами, що мають
2. здатність до саморегулювання?
3. Від чого залежить напір насосної
4. станції другого підйому?
5. При яких умовах можуть бути визначені втрати напору в комунікаціях насосних станцій?

Мета заняття – набуття навичок і умінь з визначення робочих характеристик насосного обладнання різного типу.

1. Визначити повний, динамічний і статичний напори насоса з робочим колесом діаметром D_2 при частоті обертання n , якщо кут між абсолютною і переносною швидкостями на виході із робочого колеса α_2 , кут між відносною швидкістю і дотичною в точці виходу із колеса β_2 . Рідина підводиться без закручення. Побудувати графік зміни H_d і $H_{ст}$ при зміні β_2 від β_2 до $2\beta_2$ (табл.1).

2. Визначити повний, динамічний і статичний напори насоса з робочим колесом на виході D_2 , на вході D_1 , з частістю обертання n , якщо абсолютна швидкість на вході C_1 , а кути між відповідними швидкостями α_1 , β_1 , β_2 (табл.1).

Таблиця 1 - Вихідні дані до практичних занять

Но- мер варі- анту	Діа- метр коле- са D_1 , мм	Діа- метр коле- са D_2 мм	Ши- рина лопат- ки b_2 , мм	Кіль- кість обер- тів n об/хв	α_1 , град	α_2 град	U_2 м/с	D_1 мм	β_1 град	β_2 град	C_1 м/с
1	1600	360	60	1450	12	15	18	150	12	30	0.8
2	550	405	65	980	11	25	9	120	20	45	1.0
3	570	200	37	2900	10	27	12	200	25	30	0.9

4	553	250	40	1450	8	16	14	200	22	40	1.2
5	405	250	21	980	14	30	10	150	12	35	0.8
6	350	600	20	2900	9	40	13	120	15	40	1.5
7	525	300	24	1450	13	35	16	180	25	30	1.0
8	380	600	27	980	11	30	15	110	22	45	0.9
9	190	450	23	2900	8	33	11	60	25	45	1.2
10	204	480	41	1450	10	35	17	80	15	32	0.9
11	180	400	40	980	12	27	8	90	20	40	1.3
12	192	400	24	2900	14	28	17	90	25	45	0.9
13	105	350	20	1450	9	29	12	40	22	32	1.2
14	115	300	37	980	11	17	10	40	12	28	1.0
15	162	300	35	2900	8	20	11	50	22	38	0.8
16	148	380	40	1450	14	24	12	50	25	40	1.4
17	168	320	44	980	11	26	14	500	20	36	0.9
18	315	520	30	2900	12	19	16	100	12	36	1.4
19	290	500	21	1450	13	18	15	100	15	30	0.8
20	128	250	61	980	9	27	16	40	25	45	1.0
21	204	400	53	2900	10	29	10	70	22	45	1.4
22	360	520	62	1450	8	36	14	130	12	34	0.9
23	185	450	41	980	11	40	10	70	220	42	1.5
24	170	340	57	2900	14	39	14	60	17	38	1.3
25	106	400	38	1450	13	37	11	35	15	27	0.8

Продовження таблиці 1

C ₂ м/с	Q, м ³ /с	H, м	h, м	η _о , %	B, МПа	M, МПа	Z, м	□Q, л/с	□N, %	η _о , %
20	1.2	30	2.0	97	0.05	0.3	0.5	60	2	90
50	1.4	35	3.5	95	0.04	0.35	1.5	65	4	91
40	1.6	25	3.0	96	0.03	0.25	1	70	5	92
50	0.5	24	3.0	97	0.02	0.30	2	25	3	93
30	0.3	40	3.5	95	0.04	0.50	2.5	15	1	94
60	0.6	15	2.0	96	0.02	0.4	0.5	30	3	95
60	1.4	46	3.0	95	0.05	0.2	2.5	65	4	90
30	0.2	20	2.5	96	0.02	0.7	1.5	10	3	91
40	0.1	30	2.5	95	0.03	0.3	2	5	2	92
20	0.5	70	7.0	96	0.02	0.35	1	25	5	93
60	0.3	30	3.0	95	0.05	0.25	2	15	2	94
50	0.6	35	3.0	95	0.03	0.15	0.5	30	3	95
40	0.6	60	6.2	96	0.04	0.45	2.5	30	4	90
30	0.2	45	5.7	95	0.05	0.46	1	10	2	91
20	0.4	15	2.0	94	0.04	0.2	2.5	20	5	92
40	0.1	45	3.5	95	0.02	0.3	1.5	5	3	93
20	1.4	62	6.5	95	0.03	0.3	2	65	2	94

60	1.6	45	3.5	97	0.05	0.35	1	70	3	95
500	0.2	50	4.2	94	0.02	0.6	1.5	10	2	90
40	0.4	80	7.5	96	0.04	0.45	2.5	20	4	91
30	0.7	15	2.0	95	0.03	0.15	1.5	35	5	92
30	1.0	17	2.5	95	0.04	0.45	0.5	50	3	93
20	0.2	80	7.5	96	0.04	0.65	2	10	5	94
60	0.7	40	5.0	96	0.05	0.45	1	35	2	95
40	1.0	45	3.8	95	0.03	0.5	0.5	50	4	90

3. За умовами попередньої задачі визначити повний, динамічний і статичний напори, якщо швидкість на виході із робочого колеса C_2 , а кут між абсолютною і переносною швидкостями α_2 (табл. 2).

4. За умовами попередньої задачі визначити теоретичну подачу насосів, якщо ширина лопатки β_2 .

Приклади розв'язання типових задач

1 тип задачі. . Дано: $D_2 = 400$ мм, $n = 2950$ об/хв, $\alpha_2 = 45^\circ$, $\beta_2 = 45^\circ$. Рідина підводиться до робочого колеса без закручення. Визначити повний, динамічний і статичний напори насоса. Побудувати графіки $H_g = f(\beta_2)$ і $H_{cm} = f(\beta_2)$ при зміні від $\beta_2 = 45^\circ$ до $\beta_2 = 90^\circ$.

Розв'язання

Як видно з рис. 2.5

$$C_{2u} = C_{2r} = U / 2$$

U_2 рівняється

$$U_2 = \pi D^2 n / 60 = 3.14 \cdot 0.4 \cdot 2950 / 60 = 61.75 \text{ м / с}$$

$$C_{2u} = 61.76 / 2 = 30.88 \text{ м / с}$$

Динамічна складова повного напору визначається за формулою

$$H_g = C_{2u}^2 / 2g = 30.88^2 / 2 \cdot 9.81 = 48.59 \text{ м}$$

а статичний напір

$$H_c = H_T - H_g = 194.34 - 48.59 = 145.75 \text{ м}$$

Для того, щоб побудувати графіки $H_g=f(\beta_2)$ і $H_c=f(\beta_2)$ необхідно розрахувати їх значення для проміжних величин кута β_2 . Враховуючи, що для $\beta_2=45^\circ$ напори уже відомі і достатньо буде знайти H_g і H_c при кутах $\beta_2=60^\circ$ і $\beta_2=90^\circ$.

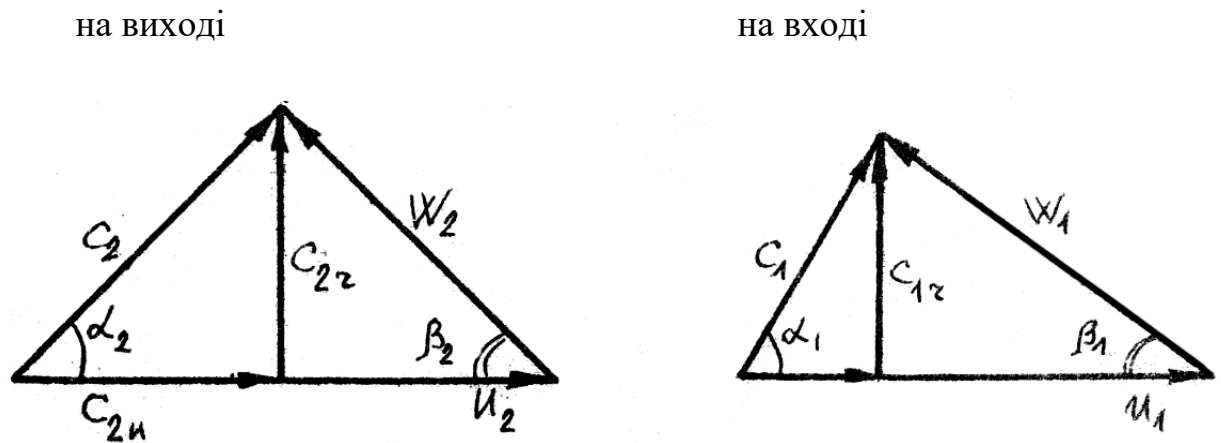


Рис. 2.4

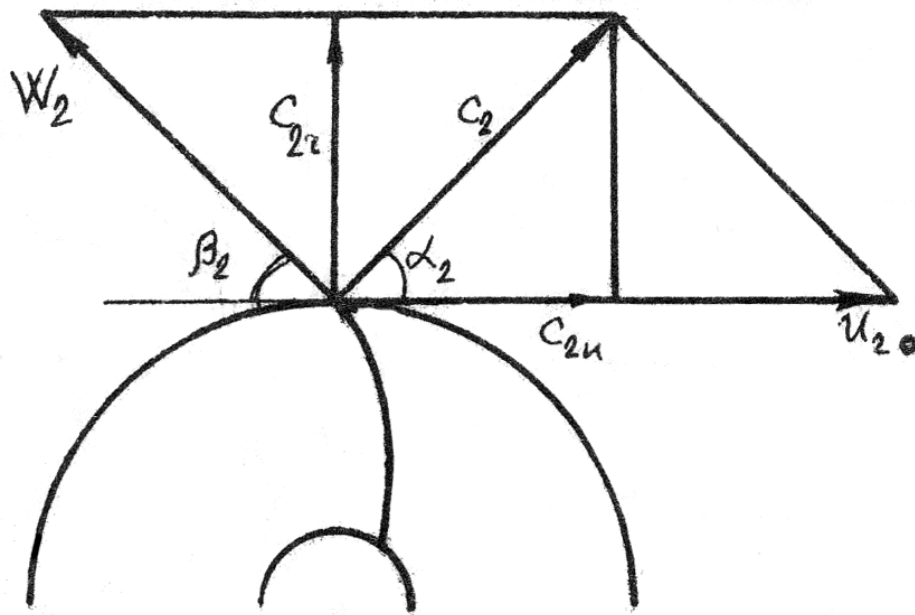


Рис. 2.5

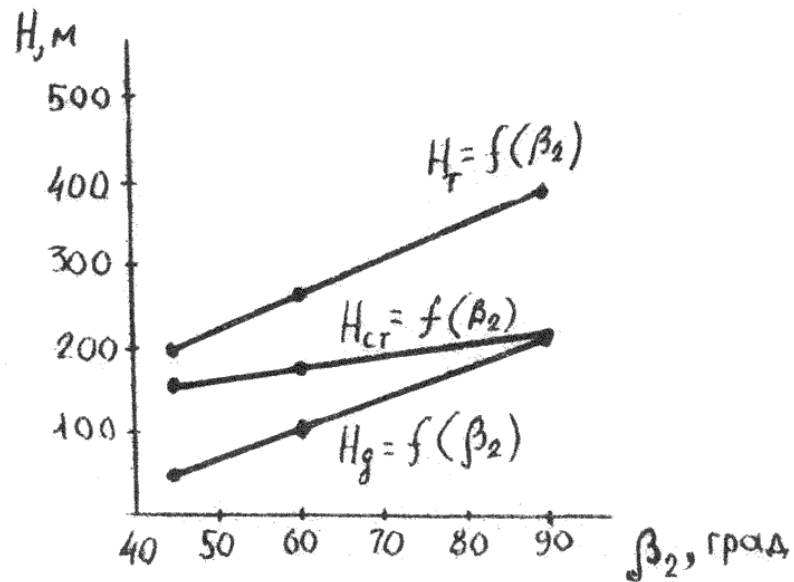


Рис. 2.6

При $\beta_2 = 60^\circ$

$$C_{2u} = U_2 - C_{2r} \cdot \operatorname{ctg} 60^\circ$$

Враховуючи, що $C_{2u} = C_{2r}$, одержимо

$$C_{2u} = U_2 / (1 + \operatorname{ctg} 60^\circ) = 61.76 / (1 + 0.577) = 39.16 \text{ м/с}$$

Тоді

$$H_T = U_2 C_{2u} / g = 61.76 \cdot 39.16 / 9.81 = 246.5$$

$$H_g = 39.16^2 / 2 \cdot 9.81 = 78.2 \text{ м}$$

$$H_c = H_T - H_g = 246.5 - 78.2 = 174.3 \text{ м}$$

При $\beta_2 = 90^\circ$

$$C_{2u} = U_2 = 61.76 \text{ м/с}$$

$$H_g = H_c = 0.5 H_T = 0.5 \cdot 61.76^2 / 9.81 = 194.3 \text{ м}$$

По одержаним значенням будуються залежності $H_g=f(\alpha_2)$ і $H_c=f(\alpha_2)$ (рис.2.6).

2 тип задачі. Дано: $D_2=0.3\text{м}$, $D_1=0.1\text{м}$, $n=2950$ об/хв, $C_1=1,5$ м/с, $\alpha_1=45^\circ$, $\beta_1=45^\circ$, $\beta_2=90^\circ$. Визначити повний, динамічний і статичний напори.

Розв'язання

Паралелограми на вході і на виході з робочого колеса показані на рис.2.7.

Повний напір визначається залежністю

$$H_T = (U_2 C_{2u} - U_1 C_1 n) / g$$

$$U_2 = \pi D_2 n / 60 = 3.14 \cdot 0.3 \cdot 2950 / 60 = 46.3 \text{ м/с}$$

$$U_1 = \pi D_1 n / 60 = 3.14 \cdot 0.1 \cdot 2950 / 60 = 15.4 \text{ м/с}$$

Так як $\alpha_2=90^\circ$, $C_{2u}=U_2=46.3\text{м/с}$

Зважаючи на те, що $\alpha_1=45^\circ$

$$H_T = (46.3 \cdot 46.3 - 15.4 \cdot 7.7) / 9.81 = 206.4 \text{ м}$$

Динамічний напір

$$H_g = C_{2u}^2 / 2g = 46.3^2 / 2 \cdot 9.81 = 109.3 \text{ м}$$

Статичний напір

$$H_c = H_T - H_g = 206.4 - 109.3 = 97.1 \text{ м}$$

Дев'ятий тип задачі. При умовах попередньої задачі визначити повний, динамічний і статичний напори, якщо $\alpha_2=25^\circ$, а $C_2=60\text{м/с}$.

Розв'язання

$$C_{2u} = C_2 \cdot \cos 25^\circ = 60 \cdot 0.91 = 54.4 \text{ м/с}$$

Практичні заняття №10-11

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ПАРАМЕТРІВ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА

Питання для повторення

- 1.Визначення теоретичної і фактичної подачі насоса. Розрахункові формули.
- 2.Визначення напору насоса. Розрахункові формули.
- 3.Визначення корисної потужності насоса і розрахунок необхідної потужності двигуна.
- 4.ККД насоса. Що характеризує кожний з складових його компонентів?

Мета заняття – набуття навичок і умінь з визначення розрахункових параметрів відцентрового насоса

Умови задач

1. Визначити фактичну подачу насоса, якщо діаметр робочого колеса D_2 , ширина лопатки на виході β_2 , частість обертів n , кут між переносною і абсолютною швидкостями α_2 , кут загибу лопатки β_2 , об'ємний коефіцієнт корисної дії насоса η_o (табл. 2).
2. Визначити напір, який розвиває насос, якщо розрідження на вході в насос В, тиск на виході М, швидкість води на вході C_1 , на виході – C_2 , а різниця між цапкою манометра і віссю насоса - Z (табл. 1).
3. Визначити корисну потужність насоса, який подає Q м³/с при напорі Н (табл. 1).
4. Визначити необхідну потужність електродвигуна при безпосередньому з'єднанні з валом насоса, якщо подача дорівнює Q , напір Н, об'ємний ККД - η_o , гідравличний ККД - η_z , а механічний $\eta_m = 0,9$ (табл. 1).
5. Визначити об'єм рідини, циркулюючої в насосі, якщо подача дорівнює Q , а об'ємний ККД - η_o (табл. 1).

6. Визначити гідравлічні втрати в насосі, якщо гідравлічний ККД дорівнює η_e , а розвиваєний ним напір - H (табл. 1).

7. Визначити повний ККД насоса, який має напір H і продуктивність Q , якщо відомо, що втрати потужності ΔN , в насосі циркулює об'єм рідини ΔQ , (табл. 1).

Приклади розв'язання типових задач

Перший тип задачі. Дано: $D_2 = 200$ мм, $\beta_2 = 2$ мм, $n = 720$ об/хв, $\alpha_2 = 45^\circ$, $\eta_o = 0.9$, $\beta_2 = 45^\circ$. Визначити фактичну подачу насоса.

Розв'язання

Трикутник швидкостей показано на рис. 1.

$$Q_\phi = Q_T \cdot \eta_o;$$

$$Q_T = \pi \times D_2 \times \beta_2 \times \psi_2 \times C_{2r}$$

Так, як $\alpha_2 = \beta_2 = 45^\circ$, то

$$C_{2r} = C_{2u} = U_2/2 = \pi D_2 n / 2 \cdot 60 = 3.14 \cdot 0.2 \cdot 720 / 120 = 3.76 \text{ м/с.}$$

Тоді

$$Q_T = 3.14 \cdot 0.2 \cdot 0.02 \cdot 0.9 \cdot 3.76 = 0.0425 \text{ м}^3 / \text{с}$$

$$Q_\phi = 0.0425 \cdot 0.9 = 0.038 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Другий тип задачі. Дано: $B = 0.05$ мПа, $M = 0.5$ мПа, $C_1 = 1$ м/с, $C_2 = 2$ м/с, $Z = 1$ м. Визначити напір, який розвиває насос.

Розв'язання

Відповідно до умов задачі можливі два випадки установки вимірювальних приладів, від чого залежить розв'язання задачі:

- вакууметр знаходиться на осі, а манометр – вище осі насосу (рис. 2);
- вакууметр знаходиться на осі, а манометр нижче осі насосу (рис. 3).

В першому випадку

$$H = M + B + Z + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} = 0.5 \cdot 98.1 + 0.05 \cdot 98.1 + \frac{2^2 - 1^2}{9.81 \cdot 2} + 1 = 55.11 \text{ м}$$

В другому випадку

$$H = M + B - Z + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} = 0.5 \cdot 98.1 + 0.05 \cdot 98.1 + \frac{2^2 - 1^2}{9.81 \cdot 2} - 1 = 53.11 \text{ м}$$

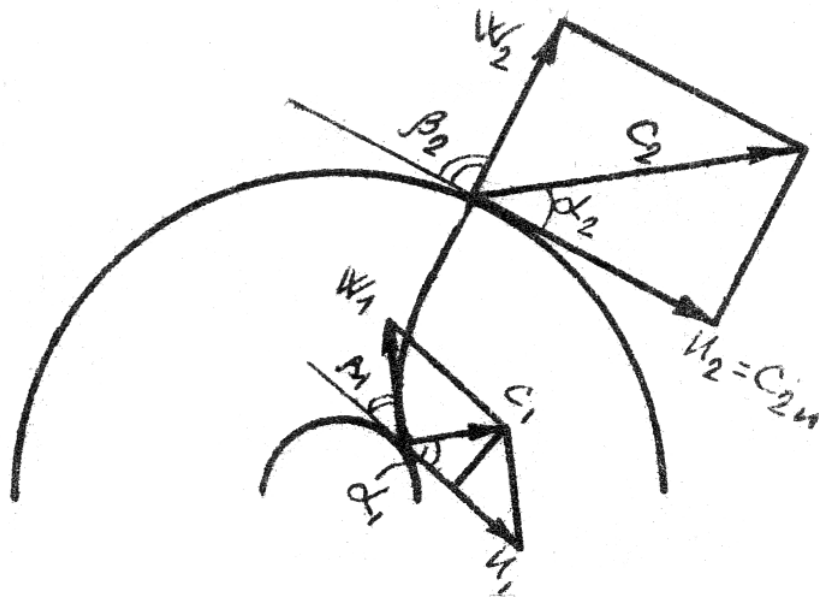


Рис. 1

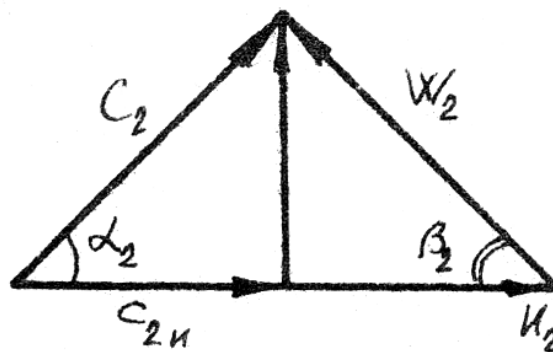


Рис. 2

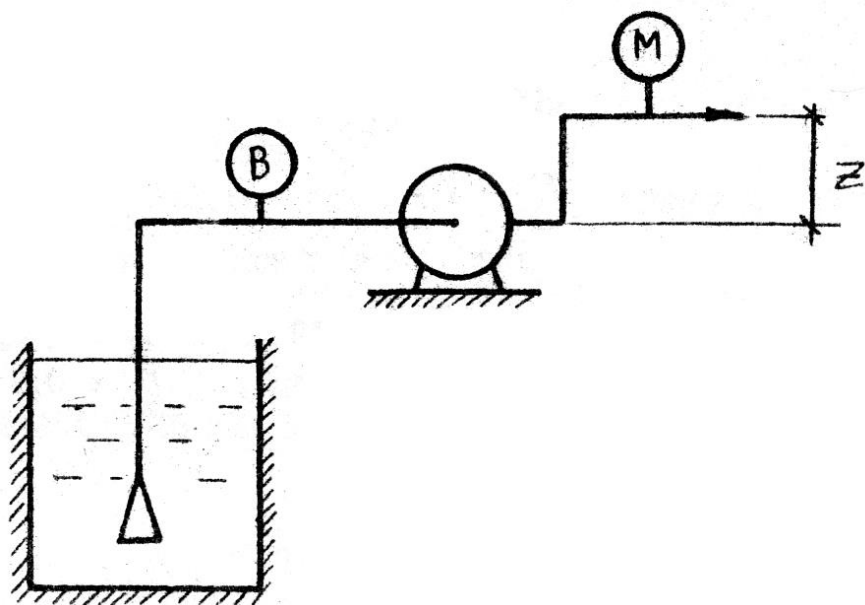


Рис. 3

Випадок 2

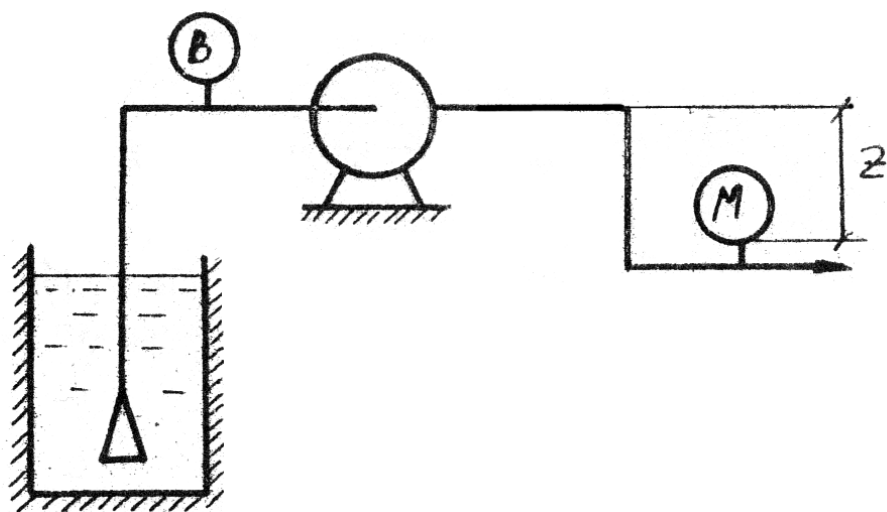


Рис. 4

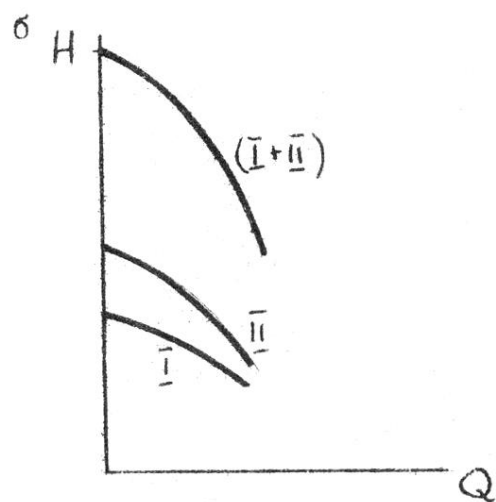
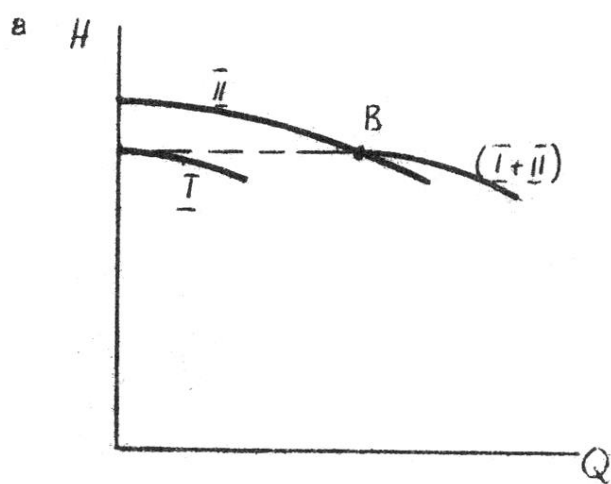


Рис. 5

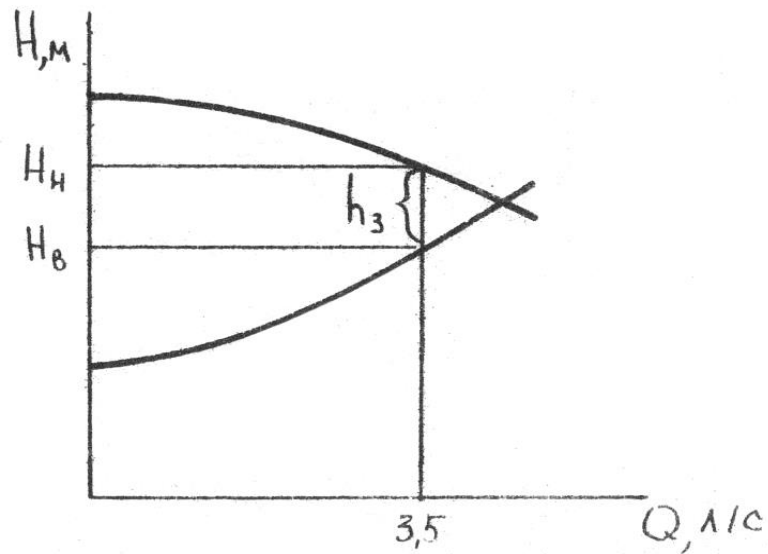


Рис. 6

Третій тип задачі. Дано $Q=1 \text{ м}^3/\text{с}$, $H=0,2 \text{ МПа}$. Визначити корисну потужність насоса.

Розв'язання

$$N_{\text{дв}} = K \rho g Q H / 1000 \eta = K \rho g Q H / (1000 \eta_{\Gamma} \eta_0 \eta_M)$$

$$N_{\text{дв}} = 1,05 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,56 \cdot 0,25 \cdot 98,1 / 1000 \cdot 95 \cdot 90 \cdot 0,9 / 10000 = 183,8 \text{ кВт.}$$

Четвертий тип задачі. Визначити корисну потужність електродвигуна при сполученні з валом насоса, якщо $Q=0,56 \text{ м}^3/\text{с}$; $H=2,5 \text{ атм}$; $\eta_{\Gamma}=0,95 \dots 0,95$; $\eta_M=0,9 \dots 0,97$; $\eta_0=0,95 \dots 0,98$; $K=1,05$.

$$N_{\text{дв}} = \frac{K \gamma \times Q \times H}{102 \times \eta} = K \frac{\gamma \times Q \times H}{102 \times \eta_0 \times \eta_M \times \eta_{\Gamma}} = 1,05 \frac{1 \times 560 \times 25}{102 \times 0,9 \times 0,9 \times 0,95} = 173 \text{ кВт}$$

П'ятий тип задачі. Дано: $Q=600 \text{ л/с}$, $\eta_0=0,95$. Визначити об'єм рідини, циркулюючої в насосі.

Розв'язання

Виходячи з того, що

$$\eta_o = Q / (Q + \Delta Q),$$

знаходимо

$$\Delta Q = Q(1 - \eta_o) / \eta_o = 600 \cdot \frac{1 - 0.95}{0.95} = 30 \text{ л/с},$$

Шостий тип задачі. Дано: $H=90$ м, $\eta_r=90\%$. Визначити гідравлічні втрати в насосі.

Розв'язання

$$h_r = H(1 - \eta_r) / \eta_r = 90 \cdot \frac{1 - 90/100}{90/100} = 10 \text{ м},$$

Сьомий тип задачі. Дано: $H=120$ м, $Q=600$ л/с, $h_r=10$ м, $\Delta N=3\%$, $\Delta Q=30$ л/с. Визначити повний ККД насоса.

Розв'язання

$$\eta_m = (100 - 3) / 100 = 0.97$$

$$\eta_r = H / (H + h_r) = 120 / (120 + 10) = 0.92$$

$$\eta_o = Q / (Q + \Delta Q) = 600 / (600 + 30) = 0.95$$

$$\eta = 0.95 \cdot 0.97 \cdot 0.92 = 0.85$$

Література

1. Шевченко Т.О., Ярошенко Ю.В. Насосні та повітродувні станції : навч. посібник. Харків : нац. ун-т міськ. госв ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ, 2015. 195 с URL : <https://core.ac.uk/reader/33755331>.
2. Новохатній В.Г. Надійність водопостачання малих населених пунктів. П. ПНТУ, 2019. 102 с. URL : <https://www.twirpx.com/file/3063065/>.

Практичне заняття №12

ЗАКОН ПОДІБНОСТІ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ

Питання для повторення

- 1.Що таке робоча точка?
- 2.Яким способом можливо змінити положення робочої точки?
- 3.Закон подібності. Зміст і область використання.

Мета заняття – набуття навичок і умінь з розрахунків робочих характеристик насосів при зміні частоти обертів робочого колеса.

Умови задач

1. Визначити подачу насоса при зміні числа обертів з η_1 до η_2 , якщо першопочаткова подача була Q_1 (табл. 1).
2. Насос з колесом діаметром D_1 розвиває напір H_1 . Визначити напір насосу при обточці колеса на 10 % (табл. 1).
3. Яким повинно бути число обертів у одного з геометрично подібних насосів, якщо перший з них при частоті обертів n_1 і діаметрі D_1 розвиває напір H_1 , а другий при діаметрі D_2 розвиває напір H_2 (табл. 1),
4. Подача, одного з двох геометрично подібних насосів Q_1 . Визначити подачу другого, якщо співвідношення частоти обертів n/n_1 , а співвідношення діаметрів D/D_1 (табл. 1).
5. Визначити напір насоса при зміні числа обертів робочого колеса, якщо один з напорів H_1 , а співвідношення частоти обертів n/n_1 (табл. 1).
6. Визначити необхідну потужність на валу насосного агрегату після зменшення числа обертів насоса, який забезпечує витрату Q_1 при напорі H_1 , якщо співвідношення частоти обертів n/n_1 , а коефіцієнт корисної дії η (табл.1).

Приклади розв'язання типових задач

Перший тип задачі. Дано: $n_1 = 2900$ об/хв, $n_2 = 1450$ об/хв, $Q_1 = 500$ л/с.
Визначити Q_2 .

Розв'язання

$$Q_1 / Q_2 = n_1 / n_2$$

$$Q_2 = Q_1 n_2 / n_1 = 500 \cdot 1450 / 2900 = 250 \text{ л/с.}$$

Другий тип задачі. Дано: $D_1 = 400$ мм, $H_1 = 50$ м. Визначити напір насоса при обточці колеса на 10%.

Розв'язання

$$H_o / H_1 = (D_o / D_1)^2$$

$$H_o = H_1 (D_o / D_1)^2 = H_1 \left(\frac{0.9 D_1}{D_1} \right)^2 = 0.81 H_1 = 0.81 \cdot 50 = 40.5 \text{ м}$$

Третій тип задачі. Дано: $n_1 = 1450$ об/хв., $D_1 = 0.4$ м, $H_1 = 20$ м, $H_2 = 30$ м, $D_2 = 350$ мм. Визначити n_2 .

Розв'язання

$$H_1 / H_2 = (n_1 D_1)^2 / (n_2 D_2)^2$$

$$n_2 = n_1 D_1 \cdot \sqrt{H_2 / H_1} / D_2 = 1450 \cdot 0.4 \cdot \sqrt{30 / 20} / 0.35 = 2030 \text{ об/хв}$$

Четвертий тип задачі. Дано: $Q_1 = 0.5$ м³/с, $n/n_1 = 0.9$, $D/D_1 = 1.2$. Визначити подачу другого насоса.

Розв'язання

$$Q / Q_1 = (n / n_1) \cdot (D / D_1)^3$$

Вважаючи на те, що з двох насосів 0,5 м³/с може подавати як більший, так і менший насос, може бути дві відповіді.

$$Q_1 = Q(n_1 / n)(D_1 / D)^3 = 0.5 \cdot (1 / 0.9) \cdot (1 / 1.2)^3 = 0.322 \text{ м}^3 / \text{с}$$

якщо 0,5 м³/с подає менший насос

$$Q = Q_1(n / n_1)(D / D_1)^3 = 0.5 \cdot 0.9 \cdot 1.2^3 = 0,778 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Таблиця 1 – Дані до практичного заняття

Номер варіанту	Марка насоса	Подача, Q_1 , л/с	Подача, Q_2 , л/с	n_1 , об/хв	n_2 , хв.	D_1 , мм	D_2 , мм	H_1 , м	H_2 , м	H_r , м	S_B (для Q в m^3/c)
1	Д200-95	42	60	2950	1450	280	240	104	90	75	5000
2	Д320-70	60	92	2950	1450	242	221	80	64	48	2000
3	Д200-36_	42	70	1450	960	350	315	31	40	17	5000
4	Д320-50	70	100	1450	960	405	382	54.	46	28	2000
5	Д500-65	111	167	1450	960	465	434,	70	57	33	1000
6	Д630-90 .	150	200	1450	960	525	502	94	89	70	500
7	Д800-57	160	270	1450	960	432	408	62	48	34	200
8	Д1250-65 .	250	350	1450	960	460	421	70	64	40	200
9	Д1250-125	280	480	1450	960	625	600	135	96	91	400
10	Д500-36	110	170	960	1450	525	500	42	34	20	500
11	Д800-26	180	280	960	1450 °	460	420	30	24	9	200
12	Д1000-40	225	375	960	1450	540	510	43,5	35	21	100
13	Д2000-21	350	600	960	1450	460	415	25	17	14	10
14	Д2000-100	400	650	970	1450	855	811	107	86	74	30
15	Д2500-62	540	780	960	1450	700	684	66	56	44	20

16	Д3200-33	680	1000	960	1450	550	516	44	28	19	10
17	Д3200-75	650	1000	960	1450	765	721	81	67	60 ,	10
18	Д4000-95.	1000	1400	960	1450	860	834	100	84	65	10
19	Д1250-І4	325	425	750	980	460	412	17	15.	12	20
20	Д2000-34	420	640	730	980	700	670	37	28	20	20
21	Д2500-І7 .	500	775	730	980	550	515	20	16	10,6	10
22	Д12500-45	550	825	730	980	765	714	45	34	26	12
23	Д3200-55	760	1200	730	980	850	821	57	44	32	10
24	Д5000-32	1100	1500	730	980	690	650	31	25	21	2
25	Д6300-27	1300	1950	730	980	740	700	33	22,5	16	2

П'ятий тип задачі. Дано: $H_1=40$ м, $n/n_1=0.5$. Визначити напір насосу H .

Розв'язання

Як і в попередній задачі тут можливо два варіанти:

- якщо напір $H_1=40$ м забезпечується меншим насосом;
- якщо напір $H_1=40$ м забезпечується більшим насосом.

Виходячи з співвідношення

$$H / H_1 = (n / n_1)^2$$

одержимо: в першому випадку

$$H = H_1(n / n_1)^2 = 40 \cdot 0,5^2 = 10 \text{ м}$$

в другому випадку

$$H_1 = H(n_1 / n)^2 = 40 \cdot (1 / 0,5)^2 = 160 \text{ м}$$

Шостий тип задачі. Дано: $Q_1=1388$ л/с, $H_1=0,3$ МПа, $n/n_1=0.5$, $\eta=0.8$.
Визначити подачу і напір насоса.

Розв'язання

Потужність на валу насоса визначається формулою

$$N = \frac{\rho g Q_1 H_1}{1000} = \frac{1000 \cdot 9.81 \cdot 1388.9 \cdot 30}{1000 \cdot 0.8} = 511 \text{ кВт}$$

Зміна споживаємої потужності при зміні кількості обертів визначається із залежності

$$N / N_1 = (n / n_1)^3$$

$$N = N_1(n / n_1)^3 = 511 \cdot 0.5^3 = 63.9 \text{ кВт}$$

При цьому подача насоса

$$Q / Q_1 = (n / n_1)$$

$$Q = Q_1(n / n_1) = 1388.9 \cdot 0.5 = 694.45 \text{ л/с}$$

Напір насоса

$$H / H_1 = (n / n_1)^2$$

$$H = H_1(n / n_1)^2 = 30 \cdot 0.5^2 = 7.5 \text{ м}$$

Література

1. Шевченко Т.О., Ярошенко Ю.В. Насосні та повітродувні станції : навч. посібник. Харків : нац. ун-т міськ. госва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ, 2015. 195 с URL : <https://core.ac.uk/reader/33755331>.
2. Новохатній В.Г. Надійність водопостачання малих населених пунктів. П. ПНТУ, 2019. 102 с. URL : <https://www.twirpx.com/file/3063065/>.
4. Холоменюк М. В., А.В. Ткачук А. В., Онопрієнко Д.М. Гідравлічні та аеродинамічні машини: навч. посібник. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. 356 с.
5. Мандрус В.І. Гідравлічні та аеродинамічні машини (насоси, вентилятори, компресори): підручник. Львів: Вища школа, 2005. 338 с.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 13

Напірно-витратні характеристики каналізаційних насосів

Питання для повторення

1. При яких умовах застосовують каналізаційні насосні станції в загальній схемі системи водовідведення?
2. Яку функцію виконують місцеві каналізаційні насосні станції?
3. Яку функцію виконують районні каналізаційні насосні станції?
4. Яку функцію виконують головні каналізаційні насосні станції?
5. З якою метою встановлюють приймальний резервуар в каналізаційних насосних станціях?

Мета заняття – набути навички і уміння з аналітичного визначення характеристик каналізаційних насосів насосів.

Задача № 1. Описати аналітично напірно-витратну характеристику Q - H каналізаційного насосу в межах робочої області кривою другого порядку і прямою лінією, якщо вона описується даними: $Q_{1к}-H_{1к}$, $Q_{2к}-H_{2к}$, $Q_{3к}-H_{3к}$, $Q_{4к}-H_{4к}$, $Q_{5к}-H_{5к}$, числові значення яких наведено в додатку А. Оцінити відхилення апроксимації від реальної характеристики. Чисельні значення $Q_{ік}$ і $H_{ік}$ прийняти по додатку А.

Розв'язування типової задачі

Нехай напірно-витратна характеристика насосу описується залежністю (табл.11).

Таблиця 1 – Напірно-витратна характеристика насосу

Напір $H_{ік}$, м	52	50	48	46	44
Подача $Q_{ік}$, м ³ /с	25	30	35	42	47

Спочатку опишемо напірно-витратну характеристику рівнянням кривої другого порядку вигляду:

$$H = a_0 + a_1 Q^2.$$

Для крайніх меж робочої області система рівнянь буде:

$$\begin{cases} 52 = a_0 + a_1 \times 25^2, \\ 44 = a_0 + a_1 \times 47^2. \end{cases}$$

Розв'язуючи цю систему, отримаємо

$$\begin{cases} 52 = a_0 + 625a_1, \\ 44 = a_0 + 2209a_1. \end{cases}$$

Якщо від першого рівняння відняти друге, то

$$8 = -1584 a_1 .$$

Звідки $a_1 = -0,00505$.

Підставивши величину коефіцієнта a_1 в перше рівняння, отримаємо:

$$52 = a_0 - 0,00505 \times 625 ,$$

$$a_0 = 52 + 3,16 = 55,16 .$$

Тоді напірно-витратна характеристика буде описуватись рівнянням

$$H = 55,16 - 0,00505 Q^2.$$

Знайдемо відхилення розрахункових величин напору від напору, який дається в вихідних даних. Для цього складаємо табл.2.

Для одержання розрахункових напорів, які необхідні для співставлення, задаємось подачею насоса з табл.11 і підставляємо її в рівняння напірно-витратної характеристики.

Таблиця 2 – Співставлення розрахункових і вихідних напорів при описуванні характеристики Q-H кривою другого порядку

Параметр, що аналізується	Чисельна величина параметру				
Напір по графічній характеристиці насоса, м	52	50	48	46	44
Напір, який розраховано по кривій $H=f(Q)$, м	52	50,6	49	46,2	44
Абсолютне відхилення, %	0	-0,6	-1	-0,2	0
Відносне відхилення, %	0	-1,2	-2,08	-0,4	0

Тепер отримаємо характеристику лінійною залежністю вигляду:

$$H = a_0 - a_1 Q.$$

Для меж робочого діапазону система рівнянь буде:

$$\begin{cases} 52 = a_0 - a_1 \times 25, \\ 44 = a_0 - a_1 \times 47. \end{cases}$$

Розв'язуючи ці рівняння, будемо мати:

$$8 = 22 a_1, \quad a_1 = 0,3636,$$

$$a_0 = 52 + 25 \times 0,3636 = 52 + 9,09 = 61,09.$$

Тоді загальний вигляд рівняння буде:

$$H = 61,09 - 0,3636 Q.$$

Розрахуємо відхилення величин напорів, які визначаються за графічною характеристикою, від напорів, що обчислюються за останньою формулою. Для цього складемо табл. 3.

Таблиця 3 – Співставлення розрахункових і вихідних напорів при описуванні характеристики Q-H лінійною залежністю

Параметр, що аналізується	Чисельна величина параметру				
Напір по графічній характеристиці насоса, м	52	50	48	46	44
Напір, який розраховано по кривій $H=f(Q)$, м	52	50,2	48,4	45,8	44
Абсолютне відхилення, %	0	-0,2	-0,4	+0,2	0
Відносне відхилення, %	0	-0,4	-0,8	+0,4	0

З таблиць 2 і 3 видно, що аналітичне описання графічної напірно-витратної характеристики забезпечує достатню для практики точність. В межах області характеристики каналізаційних відцентрових насосів, яка рекомендується для використання, напірно-витратну характеристику доцільно описувати лінійною залежністю.

Література

1. Шевченко Т.О., Ярошенко Ю.В. Насосні та повітродувні станції : навч. посібник. Харків : нац. ун-т міськ. госв ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ, 2015. 195 с URL : <https://core.ac.uk/reader/33755331>.
2. Новохатній В.Г. Надійність водопостачання малих населених пунктів. П. ПНТУ, 2019. 102 с. URL : <https://www.twirpx.com/file/3063065/>.

ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ № 14

Розрахунок елементів насосних станцій водовідведення

Питання для повторення

1. Чому дорівнює втрата тиску на ділянці від компресора до найбільш віддаленого споживача?
 2. З якою метою на повітроводах встановлюють компенсатори?
 3. З якою метою на повітроводах встановлюють компенсатори?
 4. Як виконується змащення кисневих компресорів?
- Яка кількість вмикань насосних агрегатів допускається впродовж 1 години?

Мета заняття – набути навички і уміння з аналітичного визначення характеристик каналізаційних насосів насосів.

Задача №1. Визначити, як зміниться повний напір пневматичної установки, яка забезпечує підймання стоків на висоту $H_{бак}$ при витраті q_{15} і довжині напірного трубопроводу l_3 і питомим опором $S_0 = 3686 \times 10^{-6}$ (для витрат в л/с), якщо витрата зросте в φ разів. Чисельні значення вихідних величин прийняти по додатку А.

Розв'язування типової задачі

Дано: $q_{15} = 3 \text{ л/с}$, $H_{бак} = 5 \text{ м}$, $l_3 = 10 \text{ м}$, $\varphi = 1,5$.

Визначимо повний напір установки до збільшення її подачі:

$$H = H_r + S q_{15}^2 = H_r + S_0 l_3 q_{15}^2,$$

$$H = 5 + 3686 \times 10^{-6} \times 10 \times 3^2 = 5,33 \text{ м}.$$

При збільшенні подачі в φ разів повний напір установки зросте до величини:

$$H_1 = H_r + S \varphi^2 q_{15}^2 = 5 + 3686 \times 10^{-6} \times 10 \times 1,5^2 \times 3^2 = 5,75 \text{ м}.$$

Таким чином, при збільшенні витрати в 1,5 рази повний напір повинен зрости в 1,08разів, щоб компенсувати збільшення витрат напору в 2,25разів.

Задача №2. Побудувати графік залежності довжини l додаткового колектора, який прокладається паралельно до тих колекторів, що вже існують, з метою зменшення їх загального опору, від відносного збільшення витрати в напірних трубопроводах φ_i . В вихідному положенні напірні трубопроводи виконано у вигляді n_0 паралельних ліній довжиною L такого ж діаметра, як і існуючі колектори.

Розв'язування типової задачі

Аналітична залежність $l_i = f(\varphi_i)$ має вигляд:

$$l_i = \frac{1 - \varphi_i^2}{\varphi_i^2} \times \frac{n_1^2}{n_0^2 - n_1^2} L,$$

де φ_i – коефіцієнт збільшення витрати,

n_1 і n_0 - кількість напірних колекторів на різних ділянках (відповідно там де є підсилюючий колектор і де його немає).

Якщо в вихідному положенні було n_0 напірних колекторів довжиною L , то n_0+1 паралельний колектор повинен бути такої ж довжини при необхідності збільшення загальної витрати в $\frac{n_0+1}{n_0}$ рази, коли кожний колектор буде подавати по $\frac{1}{n_1}$ від загальної витрати.

Розглянемо випадок, коли $n_0=2$, а $L=100\text{м}$.

В цьому випадку $n_0=2$ і $n_1=3$. Тоді

$$\frac{n_1^2}{n_0^2 - n_1^2} = \frac{3^2}{2^2 - 3^2} = -\frac{9}{5} = -1,8.$$

Складаємо допоміжну таблицю 14. Для цього задаємось величинами φ_i в межах від $\varphi_i=1,1$ до

$$\varphi_1=(n_0+1)/n_0 = (2+1) / 2 = 1.5.$$

і визначаємо необхідну довжину підсилюючого колектора. При цьому, щоб одержати необхідну кількість точок для побудови графіка необхідно діапазон зміни φ_i від $\varphi_{i.\min}$ до $\varphi_{i.\max}$ розділити не менше, ніж на 3 відрізка.

Таблиця 1 – Необхідна довжина підсилюючого колектора l_i при різному φ_1

Параметр, який визначається	Величина параметра при φ_i				
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$(1-\varphi_i^2)/\varphi_i^2$	-0,17	-0,30	-0,41	-0,49	-0,56
l_i , м	31	54	74	88	100

Графічна залежність $l_i=f(\varphi_i)$ буде мати вигляд:

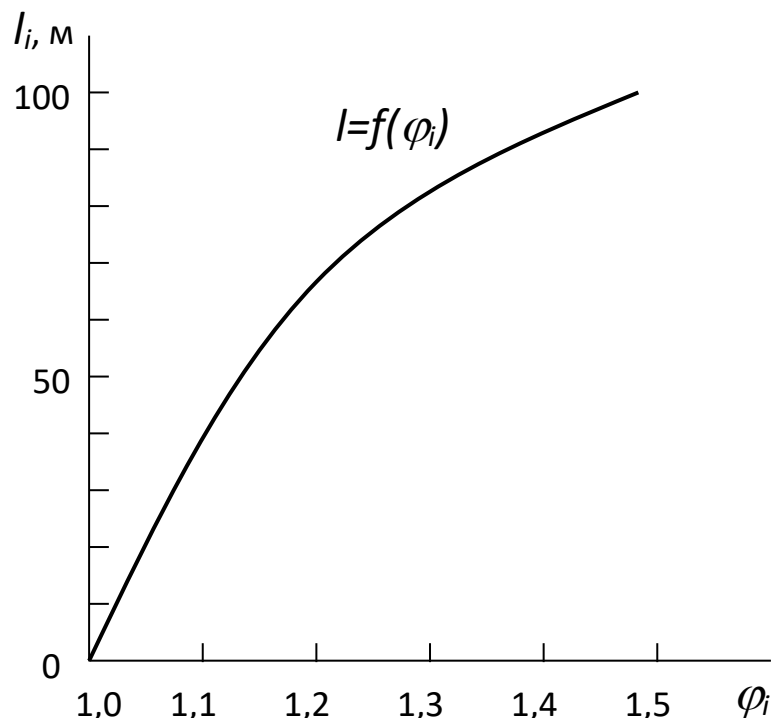
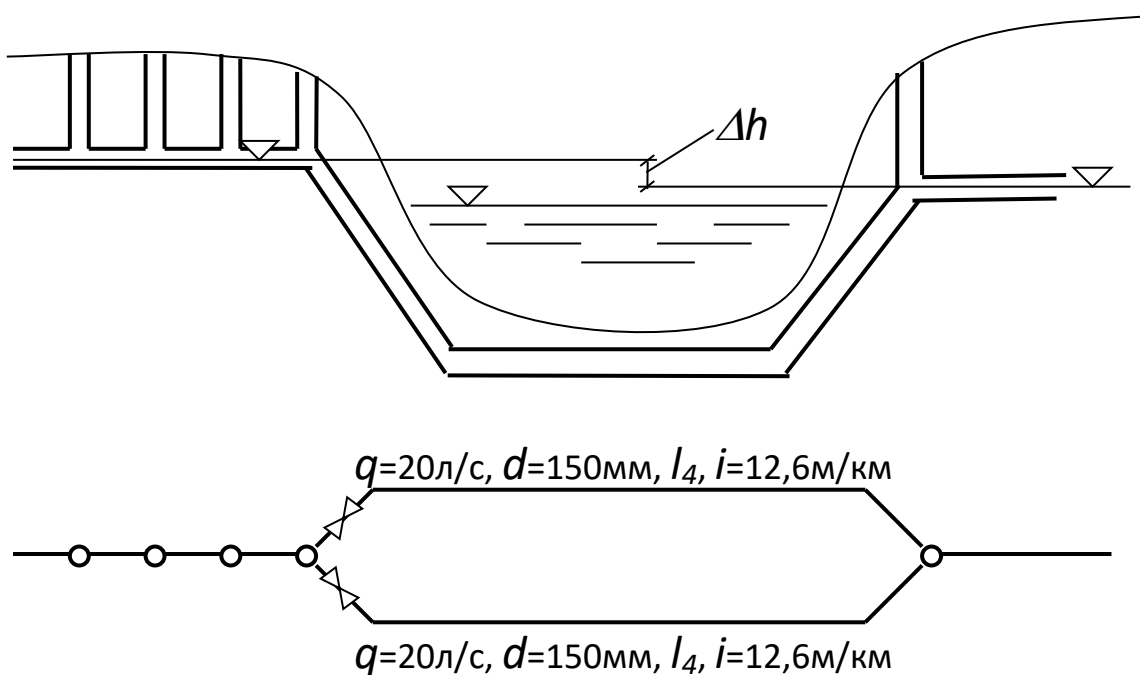


Рисунок 1 – Графік функції $l_i=f(\varphi_i)$.

Задача №3. Як зміниться режим роботи ділянок переходу через річку колектора довжиною l_4 і $d=150\text{мм}$, схема якого приведена на рис.2, якщо витрата стоків збільшиться в φ_2 разів.

Три ділянки самопливного колектора $d=300\text{мм}$ з верхової сторони дюкера характеризується такими показниками: ухил труб $i=0,004$, загальна довжина $l=150\text{м}$, витрата 40л/с , швидкість руху стоків $V=0,9\text{м/с}$, наповнення



$h/d=0,6$. Необхідні чисельні величини прийняти по додатку А.

Рисунок 2 – Схема переходу через річку

Розв'язування типової задачі

Дано: $l_4=150\text{м}$, $\varphi_2=1,3$.

Втрати напору в дюкері в вихідному стані дорівнюють:

$$\Delta h_1 = h_l + h_m = i l_4 + \sum \zeta_i \frac{v_g^2}{2g},$$

де h_l і h_m – втрати напору по довжині і на місцеві опори відповідно,

ζ_i - коефіцієнти місцевого опору в дюкері.

$$\Delta h_1 = 12.6 \times 0.15 + (\zeta_{вх.} + \zeta_{зас.} + m \zeta_{відв.} + \zeta_{вих.}) \frac{v_g^2}{2g},$$

де $\zeta_{вх.}$, $\zeta_{зас.}$, $\zeta_{відв.}$, $\zeta_{вих.}$ – коефіцієнт місцевого опору на вході в трубу, в засувці, в відводі, на вихід з труби відповідно,

m - кількість відводів, $m=2$;

v_g - швидкість руху стоків в дюкері.

$$\Delta h = 1,89 + (0,5 + 0,11 + 2 \times 0,15 + 1) \frac{1.13^2}{2 \times 9.81} = 2,01 \text{ м}$$

При збільшенні витрати в $\varphi_2=1,3$ рази втрати напору зростуть в $1,3^2=1,69$ рази і складуть:

$$\Delta h_2 = 1,69 \Delta h_1 = 3,38 \text{ м},$$

що на

$$\Delta h_3 = \Delta h_2 - \Delta h_1 = 3,38 - 2,01 = 1,37 \text{ м}$$

більше вихідних втрат напору.

Перепад позначок рівнів стоків між крайніми колодзями з верхової і низової сторін переходу складає:

$$\Delta h_{\theta} = i_{\theta} \times l_{\theta},$$

де i_{θ} – ухил верхової лінії,

l_{θ} - довжина верхової ділянки.

$$\Delta h_{\theta} = 0,004 \times 150 = 0,6 \text{ м} .$$

Якщо не вжити ніяких заходів, то при збільшенні витрат вся верхня ділянка, а також ряд прилеглих ділянок будуть підтоплені, тому що

$$\Delta h_3 > \Delta h_{\theta} .$$

Для зменшення втрат напору в переході можна прокласти додаткову лінію дюкеру, що приведе до перерозподілу витрат стоків в лініях. При загальній витраті:

$$40 \times 1,3 = 52 \text{ л/с}$$

витрата в кожній лінії буде:

$$52 / 3 = 17,33 \text{ л/с} .$$

В цьому випадку швидкість руху стоків в лініях дюкеру буде:

$$v_1 = Q / (0,785 d^2) = 0.01733 / (0,785 \times 0,15^2) = 0,98 \text{ м/с} ,$$

а питомі втрати напору $i'_0=9,6\text{м/км}$ [2]. Тоді втрати напору в дюкері будуть дорівнювати:

$$\Delta h'_1 = i'_0 l + \sum \zeta_i \frac{v_1^2}{2g} = 9,6 \times 0,15 + 1,91 \frac{0,98^2}{2 \times 9.81} = 1,53 \text{ м} .$$

Таким чином, в цьому випадку система буде працездатною, але можливе замулювання окремих ліній. З цим можна боротися за допомогою промивки, виключаючи періодично на період промивки одну з ліній дюкеру.

Вихідні дані для розв'язування задач

Показник		Величина показника при останній цифрі залікової книжки									
Вид	Одиниця виміру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$H_{\text{бак}}$	м	3	3,5	4,0	4,5	5,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0
q_{15}	л/с	4	5	4	3	1	2	1	3	1	3

l_3	м	14	15	19	16	22	19	21	18	20	17
φ	разів	1,4	1,6	1,6	1,7	2	1,9	2	1,7	2	1,8
n_0	шт	1	2	3	2	1	3	2	1	3	2
L	м	150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
φ_2	разів	1,1	1,2	1,4	1,2	1,1	1,15	1,25	1,35	1,4	1,2

Література

1. Шевченко Т.О., Ярошенко Ю.В. Насосні та повітродувні станції : навч. посібник. Харків : нац. ун-т міськ. госва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ, 2015. 195 с URL : <https://core.ac.uk/reader/33755331>.
2. Новохатній В.Г. Надійність водопостачання малих населених пунктів. П. ПНТУ, 2019. 102 с. URL : <https://www.twirpx.com/file/3063065/>.