

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

НАСОСНІ ТА ПОВІТРОДУВНІ СТАНЦІЇ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Харків
ХНУМГ
2014

Автори:

Т. О. Шевченко, к.т.н., доц. кафедри Водопостачання, водовідведення і очищення вод Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова;

Ю. В. Ярошенко, к.т.н., доц., начальник служби енергоменеджменту підприємства КП «Харківводоканал»;

М. М. Яковенко, ст. викл. каф. Водопостачання, водовідведення і очищення вод Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова;

В. М. Беляєва, ас. каф. водопостачання, водовідведення і очищення вод Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рецензенти:

І. В. Корінько, д.т.н., проф., ген. дир. КП «Харківводоканал»;

В. Г. Новохатній, д.т.н., проф. каф. гідравліки, водопостачання і водовідведення Полтавського національного технічного університету імені Ю. Кондратюка;

О. В. Матяш, к.т.н., доц. каф. гідравліки, водопостачання і водовідведення Полтавського національного технічного університету імені Ю. Кондратюка

*Рекомендовано Вченою радою Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів
(протокол № 12 від 29 серпня 2014 р.)*

Насосні та повітродувні станції : навч. посібник / Т. О. Шевченко, НЗ1 Ю. В. Ярошенко, М. М. Яковенко, В. М. Беляєва ; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Х. : ХНУМГ, 2014. – 191 с.

У навчальному посібнику розглянуто загальні питання проектування та розрахунку насосних і повітродувних станцій систем водопостачання й водовідведення на сучасному етапі розвитку згаданих систем. Наведено основні типи та конструкції насосних станцій водопостачання, каналізаційних насосних станцій та повітродувних станцій. Навчальний посібник рекомендовано студентам освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» напрямів підготовки 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)» та 6.060101 «Будівництво», а також викладачам, аспірантам, науковцям та фахівцям, діяльність яких пов'язана з питаннями розрахунку і проектування систем водопостачання та водовідведення населених пунктів.

УДК 621.313.32(075)
ББК 31.56я73-6

© Т. О. Шевченко, Ю. В. Ярошенко,
М. М. Яковенко, В. М. Беляєва, 2014
© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2014

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ.....	7
1.1 Параметри насосних станцій.....	9
1.2 Розташування насосів у машинному залі насосних станцій.....	14
1.3 Вибір насосів.....	20
1.4 Оптимальна робота насосної станції.....	26
1.5 Розширення сфери застосування насосів.....	37
1.6 Сумісна робота насосів.....	40
1.7 Рекомендації щодо підбору основного устаткування насосних станцій	46
1.8 Розташування насосних агрегатів у машинному залі станції.....	48
РОЗДІЛ 2 НАСОСНІ СТАНЦІЇ ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	57
2.1 Класифікація водопровідних насосних станцій.....	57
2.2 Насосні станції першого підйому із забором води з поверхневих джерел	58
2.3 Насосні станції першого підйому із забором води з підземних джерел.....	75
2.4 Насосні станції другого підйому.....	82
2.5 Підвищувальні насосні станції.....	98
2.6 Циркуляційні насосні станції.....	101
2.7 Пересувні насосні станції.....	105
2.8 Обладнання насосних станцій водопостачання.....	107
2.8.1 Компонування насосних станцій.....	107
2.9 Усмоктувальні та напірні трубопроводи.....	111
2.10 Механічне обладнання.....	116
2.11 Допоміжне устаткування.....	117
РОЗДІЛ 3 НАСОСНІ СТАНЦІЇ ВОДОВІДВЕДЕННЯ.....	131
3.1 Класифікація насосних станцій водовідведення.....	131
3.2 Місця розташування насосних станцій водовідведення.....	133
3.3 Визначення місткості приймального резервуара.....	134
3.4 Вибір основних і резервних насосів.....	136
3.5 Розрахунки та конструювання усмоктувальних і напірних трубопроводів.....	138
3.6 Приймальні резервуари та їхнє обладнання.....	139
3.7 Насосні станції з насосами зануреного типу.....	144
3.7.1 Проектування насосних станцій з установленим занурених агрегатів.....	147
3.7.2 Насосні станції з «мокрим» установленим занурених насосів.....	148
3.7.3 Проектування насосних станцій із зануреними насосами «сухого» установлення.....	150
3.8 Каналізаційні насосні станції зі скловолокна.....	152
3.9 Насосні станції перекачування мулу.....	157

РОЗДІЛ 4 ПОВІТРОДУВНІ СТАНЦІЇ.....	161
4.1 Класифікація повітродувних станцій.....	162
4.2 Обладнання повітродувних станцій.....	169
4.2.1 Поршневі компресори.....	170
4.2.2 Ротаційні компресори.....	175
4.2.3 Лопатеві компресори.....	177
4.3 Регулювання роботи повітродувного обладнання.....	181
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	187
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК.....	190

ВСТУП

Насосні та повітродувні станції – основні технічні елементи в системах водопостачання та каналізації, які забезпечують підйом та переміщення рідини в потрібній кількості та з необхідними напорами.

Насосними станціями називають будівлі або приміщення, у яких розташовані насосні агрегати, трубопроводи, що поєднують насоси, арматура, силові електрообладнання, контрольно-вимірювальні прилади, вантажопідйомне та допоміжне обладнання, що забезпечують роботу насосних агрегатів, їх ремонт або заміну [1]. Схеми насосних станцій варіюються в широкому діапазоні, залежно від цільового призначення і технологічних вимог, місцевих умов та інших особливостей конкретних систем.

Розрахунок, проектування й експлуатація насосних станцій у сучасних умовах повинні бути спрямовані на зниження вартості будівельно-монтажних робіт, економію й раціональне використання енергоресурсів, оптимізацію режимів роботи, з одночасною мінімізацією впливу на навколишнє середовище.

Метою викладання навчальної дисципліни «Насосні та повітродувні станції» є формування у майбутніх фахівців знань і умінь з таких питань:

- машинні методи перекачування рідини й газу;
- проектування насосних і повітродувних станцій для систем водопостачання й водовідведення;
- проектування насосних і повітродувних станцій для промислових підприємств.

Головними *завданнями* вивчення дисципліни «Насосні та повітродувні станції» є теоретична та практична підготовка студентів з таких питань:

- підбір і експлуатація насосів для потреб водопостачання, водовідведення й гідромеліорації;
- завдання, що пов'язані із загальними питаннями подачі до водорозбірних споруд, а також перекачування стічних вод на очисні споруди.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні **знати:**

- основи теорії відцентрових насосів;
- закономірності сумісної роботи насосів і трубопроводів;
- конструкцію, принципи роботи й обслуговування основних типів повітродувних машин, насосів і водопідйомників чистої та стічної води;
- основи проектування насосних станцій водопостачання та водовідведення для населених пунктів та промислових підприємств;
- основи експлуатації насосних станцій;
- засади економічного обґрунтування проектування та будівництва насосних і повітродувних станцій.

вміти:

- у складі групи фахівців проектного відділу в умовах спеціально обладнаного робочого місця, використовуючи результати пошукових робіт, обчислювальну техніку, діючі методики та нормативні документи, визначати висотне положення гідромеханічного обладнання;

- за допомогою автоматизованого робочого місця, використовуючи нормативну й довідкову літературу, проводити добір гідравлічних і аеродинамічних машин; аналізувати їхнє функціонування в системі, враховуючи сумісну роботу машин та водоводів;
- використовуючи типові проекти, паспорти виробів та іншу документацію, користуватися каталогами інженерного обладнання й арматури вітчизняного та зарубіжного виробництва;
- в умовах виробничої діяльності, керуючись відповідними інструкціями та правилами, за допомогою приладів, арматури, інструментів та інших пристроїв регулювати роботу гідравлічних і аеродинамічних машин та експлуатувати гідравлічні й аеродинамічні машини;
- використовуючи нормативну та довідкову літературу, сучасну обчислювальну техніку та автоматизоване робоче місце проектувальника, розраховувати та конструювати різноманітні насосні станції водопостачання та водовідведення, а також повітродувні станції;
- організовувати технічно грамотну експлуатацію насосних і повітродувних станцій, аналізувати та знаходити вихід з аварійних ситуацій.

Навчальний посібник містить такі розділи:

1. Загальні питання проектування насосних станцій.
2. Насосні станції водопостачання.
3. Насосні станції водовідведення.
4. Повітродувні станції.

Навчальний посібник написано відповідно до програми курсу «Насосні та повітродувні станції», рекомендованої для студентів напряму підготовки 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)» освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр». Цей навчальний посібник також може бути рекомендований студентам освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» напряму підготовки 6.060101 «Будівництво» (спеціальності «Водопостачання та водовідведення») під час вивчення дисципліни «Насосні та повітродувні станції». Модуль 2. «Проектування та експлуатація насосних та повітродувних станцій».

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ

Насосна станція – це комплекс елементів і устаткування, що забезпечує піднімання та переміщення рідини в системах водопостачання і водовідведення.

Будівельна вартість устаткування насосної станції в загальному комплексі елементів системи становить зазвичай незначну частину загальних витрат, тоді як вартість експлуатації велика (через вартість затрат електроенергії на роботу двигунів насосів).

Розраховуючи та проектуючи насосні станції, особливу увагу необхідно приділяти оптимізації виробничих процесів перекачування рідини з мінімальними витратами на електроенергію.

Класифікація насосних станцій. Насосні станції класифікуються як за загальними технологічними ознаками, так і за призначенням [1 – 3].

Класифікація насосних станцій за призначенням така:

- а) насосні станції систем водопостачання;
- б) насосні станції систем водовідведення;
- в) іригаційні насосні станції;
- г) дренажні насосні станції.

Загальні технологічні схеми насосних станцій такі:

1. За основним обладнанням:

- з відцентровими насосами;
- з осьовими насосами;
- з об'ємними насосами;
- з водопідйомниками інших типів.

2. За розташуванням насосів щодо рівня води в резервуарі:

- станції з насосами під заливом (підпір);
- станції з насосами з позитивною висотою усмоктування.

3. За глибиною закладення підлоги машинного залу:

- заглиблені (шахтного типу);
- частково заглиблені;
- наземні.

4. За видом керування:

- з ручним керуванням;
- автоматичні;
- з дистанційним керуванням.

Насосні станції водопостачання класифікуються за такими ознаками:

1. За родом рідини, що перекачується:

- господарчо-питні;
- виробничі;
- змішаного типу.

2. За надійністю дії:

- *I категорії*. Перерва в продуктивності насосної станції недопустима,

тому що це може спричинити значну матеріальну шкоду (пошкодження технологічного обладнання, розладу складного технологічного процесу тощо). До них належать насосні станції протипожежних водопроводів, а також об'єднані господарсько-протипожежні або виробничо-протипожежні водопроводи;

– *II категорії*. Перерва у подачі води допустима на час, за який обслуговуючий персонал встигне ввімкнути резервні агрегати. До них належать насосні станції, які мають у системі водопостачання ємність з необхідним протипожежним запасом води і забезпечені розрахунковим напором, а також населені пункти з кількістю мешканців більше 3 000 осіб, за витрати води на зовнішнє пожежогасіння 20 л/с.

– *III категорії*. Перерва у подачі води допустима для ліквідації аварії (але не більше 24 год.). До таких станцій належать насосні станції господарсько-протипожежних водопроводів і населених пунктів з кількістю мешканців менше 3 000 осіб, за витрати води на зовнішнє пожежогасіння до 20 л/с, а також насосні станції, що подають воду на зрошення, потреби для поливу, у допоміжні цехи промислових підприємств тощо.

Від категорії надійності насосної станції залежить кількість резервних агрегатів у ній (таблиця 1.1)

Таблиця 1.1 – Визначення кількості резервних агрегатів у насосній станції залежно від категорії надійності

Кількість робочих агрегатів кожної групи насосів (включаючи пожежні)	Кількість резервних агрегатів на станції		
	I категорія	II категорія	III категорія
1	2	1	1
2 або 3	2	1	1
4–6	2	2	1
7–9	3	3	2
10 і більше	4	4	3

3. За розташуванням у комплексі елементів системи:

- насосні станції першого підйому (НСІ);
- насосні станції другого підйому (НСІІ);
- підвищувальні;
- циркуляційні.

4. За видом водозабору:

- берегові сполучені з водозабором;
- берегові роздільного типу;
- руслові сполучені з водозабором;
- руслові роздільного типу;
- насосні станції підземних вод.

Насосні станції водовідведення класифікуються за такими ознаками:

1. За родом рідини, що перекачується:

- побутові (господарчо-фекальні);
- виробничі;
- зливові;
- для перекачування осадів.

2. За розташуванням у комплексі елементів системи:

- районні;
- головні насосні станції (ГНС).

3. За розташуванням прийомного резервуару:

- сполучені з резервуаром;
- роздільні.

Призначення насосних станцій у системах водопостачання – забезпечити споживача водою в потрібній кількості (Q) і під необхідним напором (H); у системах водовідведення – відвести стічні води за межі об'єктів, що каналізують, за розрахункових параметрів (Q і H).

Основний елемент насосних станцій – насосно-силове устаткування (насоси, насосні агрегати, насосні установки).

Насос – гідравлічна машина, що перетворює енергію двигуна в гідравлічну енергію переміщуваної рідини (енергії тиску).

Насосний агрегат – насос, що агрегатується із двигуном.

Насосна установка – насосний агрегат у комплексі із трубопроводами (усмоктувальним, напірним) і іншим устаткуванням [3].

Насосна станція – це комплекс насосних установок.

До складу обладнання насосних станцій входять:

- *основне устаткування* (насоси та приводні двигуни);
- *механічне устаткування* (пристрої, що утримують сміття, затвори, підйомно-транспортне обладнання);
- *допоміжне устаткування* (трубопроводи і комунікації, системи технічного водопостачання (СТВ), дренажно-осушувальна система (ДОС), система маслостачання (СМП), система пневматичного господарства (СПГ), вакуум-система, контрольно-вимірювальні прилади і система автоматики (КВПіА), електричне устаткування, санітарно-технічне й протипожежне устаткування).

1.1 Параметри насосних станцій

До основних параметрів насосних станцій належать [4]:

- продуктивність (подача), $/Q_{\text{НС}}/$;
- повний напір, $/H_{\text{НС}}/$;
- потужність, $/N_{\text{НС}}/$;
- коефіцієнт корисної дії, $/\text{ККД}/$.

Продуктивність Q_{HC} (м³/год, л/с) – кількість рідини, яку перекачує станція за одиницю часу

$$Q_{HC} = \frac{W}{t}, \quad (1.1)$$

де W – об'єм рідини (м³ або л);
 t – час (год. або сек.).

Продуктивність станції визначається залежно від заданої продуктивності системи (водопостачання, водовідведення) і добового режиму водоспоживання (водовідведення).

Повний напір станції H_{HC} , м, визначається повним напором насосних установок.

Повний напір насосної установки H , м – це різниця повних питомих енергій потоку на виході та вході в насос:

$$H = e_{2-2} - e_{1-1}, \quad (1.2)$$

де e_{2-2} – повна питома енергія потоку на виході з насоса, м;

e_{1-1} – повна питома енергія потоку на вході в насос, м.

Збільшення енергії потоку ($e_{2-2} > e_{1-1}$) відбувається внаслідок перетворення енергії двигуна.

Схема насосної установки наведена на рисунку 1.1.

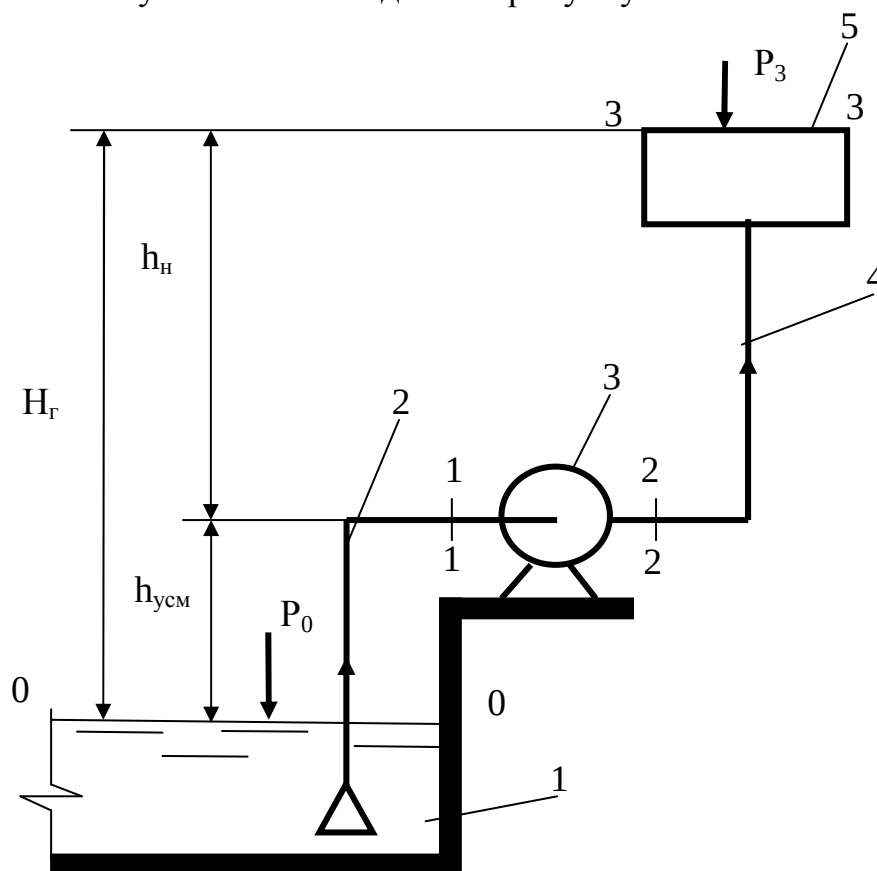


Рисунок 1.1 – Схема насосної установки

1 – накопичувальний резервуар; 2 – всмоктувальний трубопровід;
 3 – насос; 4 – напірний трубопровід; 5 – бак-споживач

Переміщення рідини внаслідок роботи насоса відбувається з нижнього резервуара (1) усмоктувальним трубопроводом (2) у насос (3), а потім з насоса напірним трубопроводом (4) у верхній бак-споживач (5).

Геометрична висота підйому рідини (геометричний напір), H_G , м:

$$H_G = h_{yc} + h_n \quad (1.3)$$

де h_{yc} – геометрична висота усмоктування, м – відстань від рівня рідини в резервуарі до осі відцентрового (горизонтального) насоса; для насосів з вертикальним валом – до площини, що проходить через вісь лопаток робочого колеса;

h_n – висота нагнітання, м, – відстань від осі насоса до рівня рідини в баку – споживачі.

У розглянутій схемі установки (рис. 1.1) (відкрита посудина під атмосферним тиском) рух рідини в усмоктувальному трубопроводі відбувається внаслідок різниці тисків у перетинах 0–0 та 1–1 в умовах вакууму, $p_{\text{вак}}$ кг/см²:

$$p_{\text{вак}} = p_a - p_1, \quad (1.4)$$

де p_a – атмосферний тиск, що відповідає геодезичній позначці розташування установки, кг/см²;

p_1 – абсолютний тиск у потоці на вході в насос ($p_1 < p_a$), кг/см².

Потік рідини в напірному трубопроводі завжди перебуває в умовах манометричного тиску p_m , кг/см²:

$$P_m = P_2 - P_a, \quad (1.5)$$

де P_2 – абсолютний тиск у потоці на виході з насоса, кг/см².

Повна енергія потоку на виході з насоса (e_{2-2}) і на вході в нього (e_{1-1}) щодо його осі така:

$$e_{2-2} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{a_2 v_2^2}{2g}, \quad (1.6)$$

$$e_{1-1} = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{a_1 v_1^2}{2g}. \quad (1.7)$$

Підставимо вирази (1.6) і (1.7) у вираз (1.2)

$$H = \left(\frac{p_2}{\gamma} + \frac{a_2 v_2^2}{2g} \right) - \left(\frac{p_1}{\gamma} + \frac{a_1 v_1^2}{2g} \right) = \left(\frac{p_2}{\gamma} - \frac{p_1}{\gamma} \right) + \left(\frac{a_2 v_2^2}{2g} - \frac{a_1 v_1^2}{2g} \right). \quad (1.8)$$

Значення $\frac{p_1}{\gamma}$ встановлюють із рівняння Бернуллі, складеного для перерізів 0–0 та 1–1, щодо площини 0–0:

$$\frac{p_0}{\gamma} = h_{yc} + \frac{a_1 v_1^2}{2g} + h_{\text{выс}}, \quad (1.9)$$

де $h_{\text{выс}}$ – втрати напору в усмоктувальному трубопроводі, м.

$$\frac{p_1}{\gamma} = \frac{p_0}{\gamma} - h_{yc} - \frac{a_1 v_1^2}{2g} - h_{wyc}. \quad (1.10)$$

$\frac{p_2}{\gamma}$ визначають за рівнянням Бернуллі, складеним для перерізів 2–2 та 3–3, щодо площини 0–0:

$$h_{yc} + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{a_2 v_2^2}{2g} = h_{yc} + h_n + \frac{p_3}{\gamma} + h_{wn}, \quad (1.11)$$

де h_{wn} – втрати напору в напірному трубопроводі, м.

$$\frac{p_2}{\gamma} = h_n + \frac{p_3}{\gamma} + h_{wn} - \frac{a_2 v_2^2}{2g}. \quad (1.12)$$

Підставляємо вирази (1.9) і (1.12) у рівняння (1.8):

$$H = h_n + \frac{p_3}{\gamma} + h_{wn} - \frac{a_2 v_2^2}{2g} - \frac{p_0}{\gamma} + h_{yc} + \frac{a_2 v_2^2}{2g} + h_{wyc} - \frac{a_2 v_2^2}{2g} + \frac{a_1 v_1^2}{2g};$$

$$H = (h_n + h_{yc}) + (h_{wn} + h_{wyc}) + \left(\frac{p_3}{\gamma} - \frac{p_0}{\gamma} \right) - \left(\frac{a_2 v_2^2}{2g} - \frac{a_1 v_1^2}{2g} \right).$$

Для відкритих резервуарів, баків: $\frac{p_3}{\gamma} = \frac{p_0}{\gamma} = \frac{p_a}{\gamma}$; за $d_1 = d_2$; $V_1 = V_2$

$$H = h_{yc} + h_n + h_{wyc} + h_{wn}. \quad (1.13)$$

З огляду на (1.3),

$$H = H_r + \Sigma h_w, \quad (1.14)$$

де $\Sigma h_w = h_{wyc} + h_{wn}$ – сума втрат напору в усмоктувальних і напірних трубопроводах, м.

Потужність насосної станції визначається потужністю насосних агрегатів. Потужність насоса N_n Вт (кВт) – робота, що виконана насосом за одиницю часу:

$$N_n = \frac{A}{t}. \quad (1.15)$$

Робота насоса A , кГм (Дж):

$$A = GH = mgH, \quad (1.16)$$

де G – вага переміщуваного обсягу рідини, кг;

m – маса переміщуваного обсягу рідини, кг·с²/м;

$$m = \rho W = \rho Q t, \quad (1.17)$$

де ρ – щільність рідини, кг/м³;

W – об'єм, м³;

Q – продуктивність насоса, м³/с.

Підставимо вираз (1.17) у вираз (1.16):

$$A = \rho Q t g H. \quad (1.18)$$

Підставивши вираз (1.18) у вираз (1.15), отримаємо вираз для визначення потужності N_n , Вт:

$$N_n = \frac{\rho Q t g H}{t} = \rho g Q H .$$

Корисна потужність насоса N_n , Вт:

$$N_n = \rho g Q H, \text{ Вт.} \quad (1.19)$$

Для води $\rho = 1\,000 \text{ кг/м}^3$, за Q , м³/с, H , м:

$$N_n = g Q H, \text{ кВт.} \quad (1.20)$$

Для води: за Q , л/с; H , м; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$:

$$N_n = \frac{g Q H}{1000}, \text{ кВт,}$$

$$N_n = \frac{Q H}{102}, \text{ кВт.} \quad (1.21)$$

Потужність насосної станції N_{nc} , кВт, дорівнює: $N_{nc} = \Sigma N_n$. Потужність, що підводиться до вала насоса $N_{\text{в}}$, кВт:

$$N_{\text{в}} = \frac{N_n}{\eta_n}, \quad (1.22)$$

де η_n – повний ККД насоса, %.

Повний ККД насоса, η (%) – відношення корисної потужності насоса до потужності на валу насоса:

$$\eta_n = \frac{N_n}{N_{\text{в}}}. \quad (1.23)$$

Повний ККД насоса враховує всі втрати (гідравлічні, механічні, об'ємні).

Потужність двигуна $N_{\text{дв}}$, кВт, насоса:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_n}{\eta_n \eta_{\text{дв}} \eta_n} \cdot K, \quad (1.24)$$

де η_n – ККД насоса, %;

$\eta_{\text{дв}}$ – ККД двигуна, %;

η_n – коефіцієнт передачі, %;

K – коефіцієнт запасу на перевантаження двигуна ($K \approx 1,1-1,5$).

Коефіцієнт корисної дії насосної станції визначається коефіцієнтами корисної дії насосних агрегатів.

Коефіцієнт корисної дії насосного агрегату η_a , %:

$$\eta_a = \eta_n \eta_{\text{дв}} \eta_e. \quad (1.25)$$

Для групи однотипних насосів, встановлених на насосній станції, ККД станції η_{nc} , %, такий

$$\eta_{nc} = \eta_a. \quad (1.26)$$

Для різнотипних насосів ККД станції η_{nc} , %:

$$\eta_{nc} = \frac{Q_{nc}}{\sum \frac{Q_i}{\eta_{a,i}}}, \quad (1.27)$$

де Q_{nc} – продуктивність насосної станції, м³/с;

Q_i – продуктивність кожного з різнотипних насосів, м³/с;

$\eta_{a,i}$ – ККД кожного насоса, %.

1.2 Розташування насосів у машинному залі насосних станцій

Залежно від розташування насосів щодо рівня води в резервуарах розрізняють такі станції (рис. 1.2):

- 1) з насосами із позитивною висотою усмоктування;
- 2) з насосами під заливом.

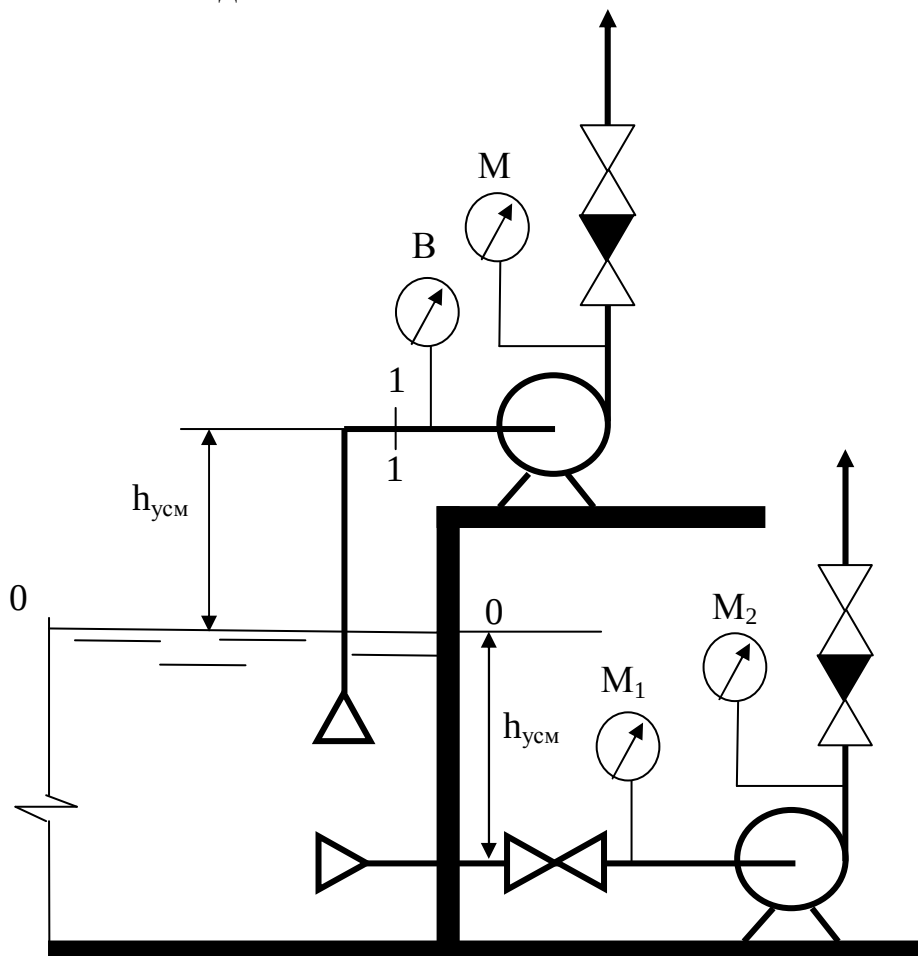


Рисунок 1.2 – Схема розташування насоса вище рівня рідини та під заливом

У першому випадку насоси розташовані вище розрахункового рівня рідини в резервуарі. До того ж зазвичай знижується вартість будівництва насосної станції внаслідок зменшення обсягу й вартості земельних робіт з устрою котлована, будівельних конструкцій підземної частини, комунікацій тощо. Це станції наземного або частково заглибленого типу [2].

Під час перекачування рідини з відкритих резервуарів потік в усмоктувальних трубопроводах перебуває в умовах вакууму, це ускладнює запуск насосних агрегатів та, у певних випадках, спричиняє виникнення явища кавітації, що викликає зрив роботи насосів. Для нормалізації технологічного процесу потрібно здійснити певні заходи.

У другому випадку насоси перебувають нижче рівня води в резервуарі. Рух рідини в усмоктувальних трубопроводах, як і в напірних водоводах, відбувається в умовах манометричного тиску, тому робота насоса стабільна.

Висота усмоктування і явище кавітації

Розглянемо роботу насоса з позитивною висотою всмоктування (рис. 1.2).

Рівняння Бернуллі для перерізів 0–0 й 1–1, щодо площини порівняння 0–0 таке:

$$\frac{p_a}{\gamma} = h_{вс} + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{a_1 v_1^2}{2g} + h_{вус} . \quad (1.28)$$

Геометрична висота усмоктування насоса $h_{ус}$, м:

$$h_{усм} = \frac{p_a - p_1}{\gamma} - \frac{a_1 v_1^2}{2g} - h_{вус} . \quad (1.29)$$

У рівнянні (1.29) $\frac{p_a - p_1}{\gamma} = h_{вак}$,

де $h_{вак}$ – вакуумметрична висота усмоктування насоса, м (характеризує ступінь вакууму на вході в насос);

$$h_{ус} = h_{вак} - \frac{a_1 v_1^2}{2g} - h_{вус} . \quad (1.30)$$

З рівняння (1.30) випливає, що геометрична висота усмоктування (розташування насоса над рівнем рідини в резервуарі) обмежена ступенем вакууму.

Теоретично, у разі зниження абсолютного тиску p_1 до нуля, $h_{усм}$ наближається до величини $P_{вак}^{макс} = p_a = 1 \text{ кг/см}^2 = 10 \text{ м вод. ст.}$

Однак, у разі надмірного зниження абсолютного тиску в потоці виникає явище **кавітації**: в області низького абсолютного тиску (нижче тиску паротворення рідини, що перекачується p_n) спостерігається стратифікація потоку, паротворення, порушується суцільність потоку, виділяються розчинені в рідині гази у вигляді пухирців, пари та каверн [1, 2].

Стратифікований потік переноситься в область високого манометричного тиску, де відбувається конденсація, «лопання» пухирців, об'єми яких миттєво заповнює краплинна рідина, – виникають точкові гідравлічні удари, що поступово руйнують конструкції установок. Механічна корозія конструкцій супроводжується термічними й електрохімічними руйнуваннями.

Кавітація представляє собою складний комплекс наступних явищ:

О *виділення пари і розчинених газів з рідини* в тих областях, де тиск рідини дорівнює або менше тиску її насичених парів;

О *місцеве підвищення швидкості руху рідини* в тому місці, де виникло пароутворення, та безладний рух рідини;

О *конденсація пухирців пари*, які переносяться потоком рідини в область підвищеного тиску. Механічні дії, що багаторазово повторюються під час конденсації пухирців, спричиняють механічний процес руйнування матеріалу колеса, що є найбільш небезпечним наслідком кавітації.

О *хімічне руйнування металу в зоні кавітації киснем повітря*, який виділився з рідини під час проходження її через зони зниженого тиску. Цей процес називається **корозією**.

Кавітація, може відбуватися не тільки у робочому колесі, але й у спрямовуючому апараті або в спіралі, хоча тут вона спостерігається порівняно рідше. Явище кавітації супроводжується характерним потріскуванням в області всмоктування, шумом і вібрацією насоса.

Під час роботи насоса в кавітаційному режимі різко знижується напір, ККД установки та інші параметри. Основні причини виникнення кавітації в насосах наведені в таблиці 1.2 [2].

Таблиця 1.2 – Основні причини виникнення кавітації в насосах

<i>Види кавітації</i>	<i>Причини виникнення</i>
Внутрішня рециркуляція	Наявність на напірній стороні насоса прикритої засувки, засміченого фільтра, тиску з боку системи вище розрахункового. Насос працює в точці, яка знаходиться лівіше оптимальної зони
Збурення в поточній частині	Робоче колесо завищеного розміру. Використання невідповідних деталей, встановлених під час ремонту
Засмоктування повітря	Невідповідне ущільнення вала. Підвищені швидкості потоку в усмоктувальній лінії. Неспівосність, невідповідність розмірів фланців
Турбулентність	Проектом закладені невідповідні технічним вимогам лінія всмоктування, прийомний резервуар, обв'язка
Пароутворення	Невідповідність за кавітаційним запасом. На всмоктувальній стороні є прикрита засувка, засмічений фільтр. Всмоктування відбувається з недостатньої глибини

Щоб забезпечити безкавітаційну роботу насоса потрібно не допустити зниження абсолютного тиску в потоці під час усмоктування до рівня тиску насичених парів рідини за даної температури.

Не можна допускати, щоб під час роботи насоса абсолютний тиск p знизився нижче тиску паротворення (пружності парів) p_n рідини, що перекачується.

Мінімально припустимий абсолютний тиск повинен перевищувати тиск паротворення: $p_1^{min} > p_n$.

Повна питома енергія потоку $\left(e = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{a_1 v_1^2}{2g} \right)$ на вході в насос повинна мати надлишок (Δh) у порівнянні з тиском паротворення p_n .

Надлишковий тиск

$$\Delta h = e - \frac{p_n}{\gamma}, \quad (1.31)$$

$$\Delta h = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{a_1 v_1^2}{2g} - \frac{p_n}{\gamma}.$$

Звідси:

$$\frac{a_1 v_1^2}{2g} = \Delta h + \frac{p_n}{\gamma} - \frac{p_1}{\gamma}. \quad (1.32)$$

Підставимо (1.32) в (1.29):

$$h_{усм} = \frac{p_a}{\gamma} - \frac{p_1}{\gamma} - \Delta h - \frac{p_n}{\gamma} + \frac{p_1}{\gamma} h_{wyc}.$$

Припустима висота усмоктування:

$$h_{ус}^{прп} = \frac{p_a}{\gamma} - \frac{p_n}{\gamma} - \Delta h - h_{wyc}; \quad (1.33)$$

$$h_{ус}^{прп} = h_{вак}^{прп} - \Delta h \phi - h_{wyc},$$

де $h_{вак}^{прп} = \frac{p_a - p_n}{\gamma}$ – припустима вакуумметрична висота усмоктування, м;

ϕ – коефіцієнт запасу ($\phi = 1,2-1,4$).

Приймаємо $\Delta h = \sigma H$,

де H – повний напір насоса, м.

$$\sigma = \left(\frac{n_s}{c} \right)^{\frac{2}{3}}, \quad (1.34)$$

де σ – коефіцієнт кавітації;

n_s – коефіцієнт швидкохідності;

c – кавітаційний коефіцієнт ($c = f(n_s)$ (таблиця 1.3)).

Таблиця 1.3 – Залежність кавітаційного коефіцієнта від коефіцієнта швидкохідності ($c = f(n_s)$)

Коефіцієнт швидкохідності, n_s	50–70	70–80	80–150	150–200
Кавітаційний коефіцієнт, c	600–750	800	800–1 000	1 000–1 200

Припустима висота усмоктування насоса $h_{ус}^{прин}$, м:

$$h_{ус}^{прин} = h_{вак}^{прин} - \sigma H \varphi - h_{вус}. \quad (1.35)$$

Припустима висота усмоктування залежить від таких факторів [4]:

- роду рідини, що перекачується, і її температури;
- довжини усмоктувальних трубопроводів;
- швидкості руху рідини під час усмоктування;
- геодезичної позначки місцевості будівлі станції тощо.

Припустима вакуумметрична висота усмоктування $h_{вак}^{прин}$, м, конкретного насоса наводиться в паспортних даних (характеристиці $h_{вак}^{прин} - Q$) за нормального атмосферного тиску ($p_a = 10,33$ м вод. ст.) і температури води, що перекачується ($t = 20^\circ\text{C}$), за номінальної кількості обертів n робочого колеса.

За іншої кількості обертів $n' h_{вак}^{прин}$, м, визначається за формулою:

$$h_{вак}^{прин'} = 10 - (10 - h_{вак}^{прин}) \cdot \left(\frac{n'}{n}\right)^2, \quad (1.36)$$

де $h_{вак}^{прин}$ – припустима вакуумметрична висота усмоктування за номінальної кількості обертів n , м.

Атмосферний тиск $H_{атм}$, м, визначається за величиною геодезичної позначки землі біля насосної станції Z , м (табл. 1.4)

Таблиця 1.4 – Залежність величини атмосферного тиску від геодезичної позначки біля насосної станції ($H_{атм} = f(Z_m)$)

Z , м	0	100	200	300	400	500	600	2 000
$H_{атм} = \frac{p_a}{\gamma}$, м	10,33	10,2	10,1	10,0	9,8	9,7	9,6	8,0

Якщо позначка місцевості $Z > 0$, $h_{вак}^{прин'}$, м, то визначаємо за формулою:

$$h_{вак}^{прин'} = h_{вак}^{прин} - 10 + H_{атм}, \quad (1.37)$$

де $h_{вак}^{прин}$ – припустима вакуумметрична висота усмоктування за $Z = 0$, м;

$H_{атм}$ – атмосферний тиск за $Z > 0$, м.

Приклад: $h_{\text{вак}}^{\text{прин}}(z=2000) = h_{\text{вак}}^{\text{прин}} - 10 + H_{\text{атм}} = h_{\text{вак}}^{\text{прин}} - 10 + 8,0$.

За іншої температури води, що перекачується ($t > 20^\circ\text{C}$) припустима вакуумметрична висота усмоктування $h_{\text{вак}}^{\text{прин}}$ м, визначається за формулою:

$$h_{\text{вак}}^{\text{прин}} = h_{\text{вак}}^{\text{прин}} - h_{\text{нт}} - h_{\text{нт}}, \quad (1.38)$$

де $h_{\text{вак}}^{\text{прин}}$ – припустима вакуумметрична висота усмоктування за $t = 20^\circ\text{C}$, м;

$h_{\text{нт}}$ – тиск паротворення води за $t^0 > 20^\circ\text{C}$, м;

$h_{\text{нт}}$ – тиск паротворення за $t = 20^\circ\text{C}$, м.

Значення тиску паротворення води залежно від температури наводиться в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Значення тиску паротворення води залежно від температури $h_n = f(t^0)$

$t^0\text{C}$	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$h_n = \frac{p_n}{\gamma}$, м	0,24	0,43	0,75	1,25	2,12	3,17	4,82	7,14	10,33

Приклад: $h_{\text{вак}}^{\text{прин}}(t^0=70^\circ\text{C}) = h_{\text{вак}}^{\text{прин}} - 3,17 - 0,24$.

В каталогах насосів наводяться характеристики, що враховують припустиму висоту розташування насосів під час усмоктування над рівнем води в резервуарі у двох варіантах:

а) характеристика $h_{\text{вак}}^{\text{прин}} - Q$ – параболічна крива, що знижується у бік збільшення подачі насоса;

б) характеристика $\Delta h_{\text{прин}} - Q$ – параболічна лінія, що сходиться у бік збільшення подачі насоса.

Кожний насос характеризується величиною **кавітаційного запасу** (позначається західними насосними фірмами **NPSH**). Це мінімальний тиск, у межах якого зберігається однофазний стан рідини, що потрапляє в насос, тобто власне стан рідини. Номінальне значення та криву залежності подачі/напора зобов'язаний надавати виробник насоса.

Кавітаційний запас не піддається контролю з точки зору механіки, і оператор насосної станції сприймає кавітацію, що розвивається, за металічним шумом та клацанням.

Для того щоб правильно усунути кавітацію, потрібно керуватися таким принципом: *на вході в насос має бути завжди більше рідини, ніж на виході* [4]. Щоб цього досягнути, необхідно:

- замінити діаметр всмоктуючого патрубку на більший;
- перемістити насос ближче до живильного резервуара, але не ближче 5–10 діаметрів всмоктуючої труби;
- знизити опір в усмоктуючій трубі шляхом заміни її матеріалу на менш шорсткий, засувки на шиберну, яка характеризується меншими втратами, видаленням зворотного клапана;

- якщо всмоктуюча труба має повороти, то треба зменшити їхню кількість або замінити відводи малих на більші радіуси повороту, зорієнтувавши їх в одній площині;
- збільшити тиск на всмоктувальній стороні насоса шляхом підвищення рівня в живильному резервуарі, зниження осі установки насоса або використання бустерного насоса.

1.3 Вибір насосів

У системах водопостачання та каналізації як основне устаткування насосних станцій застосовують лопатеві насоси з електродвигунами переважно асинхронного і синхронного типу. Група лопатевих насосів містить відцентрові, діагональні та осьові (пропелерні). Вибір того чи іншого типу насоса визначається призначенням насосної станції та її місцем у системі, режимом роботи, основними розрахунковими параметрами та іншими вимогами [1–5].

Параметри лопатевих насосів, на відміну від інших видів водопідйомних пристроїв, перебувають у функціональній залежності, що дало змогу скласти робочі характеристики.

Характеристики відцентрових насосів – це графічний зв'язок між напором і продуктивністю ($H - Q$), потужністю і продуктивністю ($N - Q$), ККД і продуктивністю ($\eta - Q$), припустимою висотою усмоктування і продуктивністю ($h_{\text{вак}}^{\text{прп}} - Q$) за постійної кількості обертів робочого колеса ($n - \text{const}$).

Дослідження показали, що теоретично отримані характеристики відрізняються від робочих характеристик, які відповідають натурним умовам. Очевидно, не можна врахувати повною мірою такі фактори, як високий ступінь турбулентності, утворення вихорів, опору, сили тертя в проточній частині насоса тощо.

Характеристики відцентрових насосів одержують шляхом стендових випробувань гідромашини, узяті із серії, що випускає це підприємство. Дослідження проводять на стенді, схема якого зображена на рисунку 1.3 [4].

Мета випробування – отримати значення основних параметрів шляхом безпосередніх вимірів на працюючій насосній установці.

Під час випробувань вимірюванню підлягають продуктивність (Q), тиск (напір H), потужність (N) і кількість обертів вала гідромашини (n). Змінюючи режим роботи насоса дроселюванням, визначають витрату Q , тиск (p), що створює насос, крутний момент (M) на валу, кількість обертів (n) вала, температуру (t) рідини, що перекачується, об'ємну вагу (γ).

Відповідні значення, отримані шляхом вимірювань на стендових випробуваннях насоса, наносять на графіки і через отримані експериментальні точки проводять осереднюючі плавні криві $H - Q$, $N - Q$, $\eta - Q$, $\Delta h_{\text{прп}} - Q$.

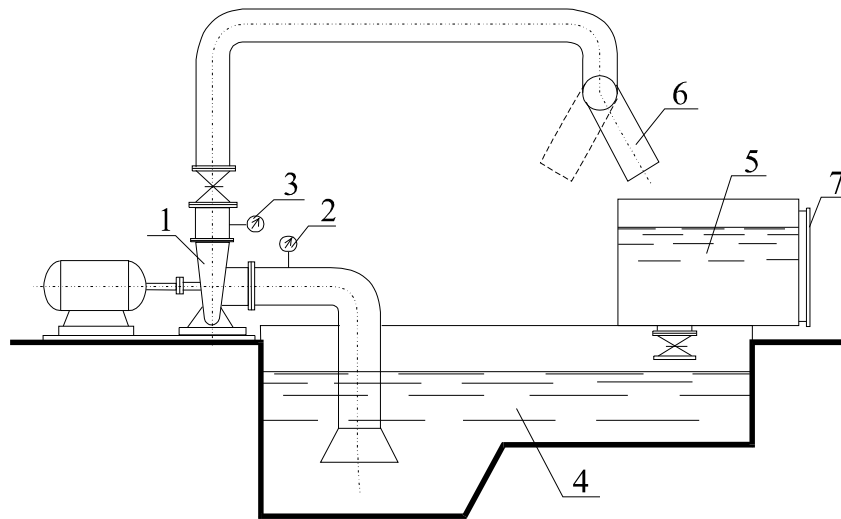


Рисунок 1.3 – Схема стенда для випробувань насосної установки
 1 – насос; 2 – вакууметр; 3 – манометр; 4 – резервуар;
 5 – вимірювальний бак; 6 – поворотний накінецьник; 7 – водомірне скло

Доцільно розміщати ці криві на полі одного графіка в таких координатах: вісь абсцис – продуктивність Q , $\text{м}^3/\text{год}$, л/с ; вісь ординат – чотири параметри: напір H , м ; потужність N , кВт ; ККД, η , %; припустима вакуумметрична висота (або припустимий кавітаційний запас), $\Delta h_{\text{прп}}$, м (рис. 1.4).

Характеристики ($Q - H$) відцентрових насосів можуть бути стабільними й лабільними. Характеристику називають **стабільною**, якщо найбільший напір насоса відповідає нульовій подачі (крива 1, рисунок 1.4), і **лабільною**, якщо вона має максимум за деякої позитивної подачі (крива 2, рис. 1.4).

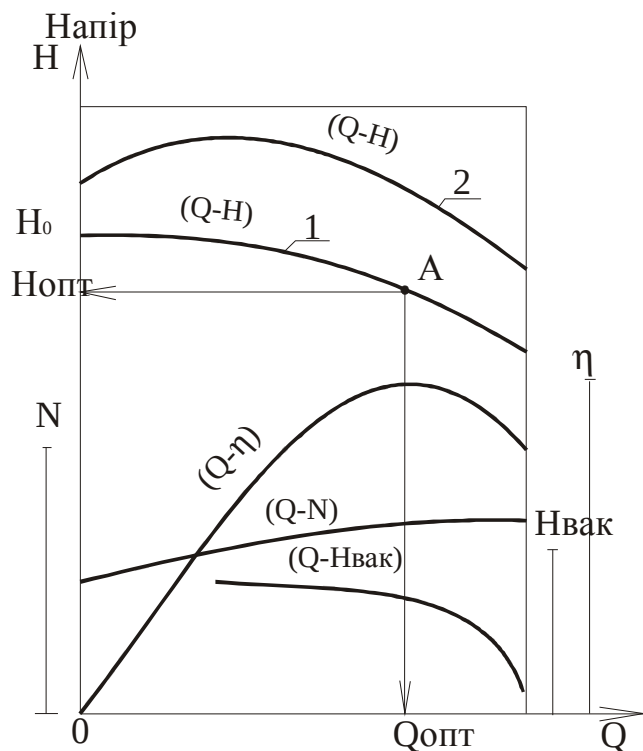


Рисунок 1.4 – Побудова характеристик насоса за результатами випробувань
 $H-Q$ – головна характеристика насоса: 1 – стабільна характеристика,
 2 – лабільна характеристика; $N-Q$ і $\eta-Q$ – енергетичні характеристики

Спільний розгляд характеристик дає змогу не тільки підібрати насос за основними параметрами Q і H , але й проаналізувати енергетичні параметри гідромашини N , η .

Графік характеристик наводиться в паспорті насоса і є підставою для підбору марки насоса.

Характеристики лопатевих насосів групують за призначенням, родом рідини, що перекачується, і наводять їх на зведених графіках головних характеристик, що полегшує вибір у кожному конкретному розрахунку необхідної марки насоса.

Графік характеристик уможливилює знаходження оптимальних значень Q_{opt} , H_{opt} , $\Delta h_{прп\ opt}$, які відповідають максимальному ККД (η_{max}) цього насоса (рис. 1.4).

Головні елементи системи подачі та розподілу води (СПРВ) – це насосні станції, водогінні мережі та комунікації. Узгоджена робота насосів і трубопроводів забезпечує розрахунковий режим систем. Характеристики насосів і трубопроводів взаємозалежні як функціонально, так і технологічно.

Характеристика трубопроводу – це графічна залежність втрат напору h від витрати води – $h = f(Q)$.

Відповідно до квадратичного закону опору ($V > 1,2\text{ м/с}$) втрати напору за довжиною за рахунок тертя (м), визначають за формулою:

$$h = SQ^2, \quad (1.38)$$

де Q – витрата води в трубопроводі, $\text{м}^3/\text{с}$;

S – опір трубопроводу.

$$S = Al,$$

де l – довжина трубопроводу, м;

A – питомий опір трубопроводу, визначається за таблицями [6] як функція від діаметра та матеріалу труб (для цього трубопроводу $A = const$).

Задаючись довільно рядом значень Q , за відомого S , за формулою (1.38) знаходять відповідні значення втрат напору h .

На полі графіка (вісь абсцис – Q ; вісь ординат – h) відкладають отримані значення h , Q , за якими проводиться усереднена параболічна лінія, що сходиться у бік Q з вершиною на початку координат – характеристика трубопроводу.

Існують трубопроводи із послідовним і паралельним з'єднанням окремих ділянок. Для кожного з таких трубопроводів може бути складена сумарна характеристика [1, 2]. На рисунку 1.5 зображений графік побудови сумарної характеристики трубопроводу з послідовним з'єднанням труб, який складається із трьох ділянок, і за вищевикладеною методикою побудовані їхні характеристики $h_1 - Q$; $h_2 - Q$; $h_3 - Q$.

Сумарну характеристику системи трубопроводів ($h_w - Q$) отримують шляхом графічного додавання ординат (напорів) кривих $h_1 - Q$; $h_2 - Q$; $h_3 - Q$ за однакових абсцис (витрат). За допомогою графіків $h - Q$ можна отримати значення втрат напору в кожній ділянці і сумарні втрати h_w за заданої величини витрати води в системі Q .

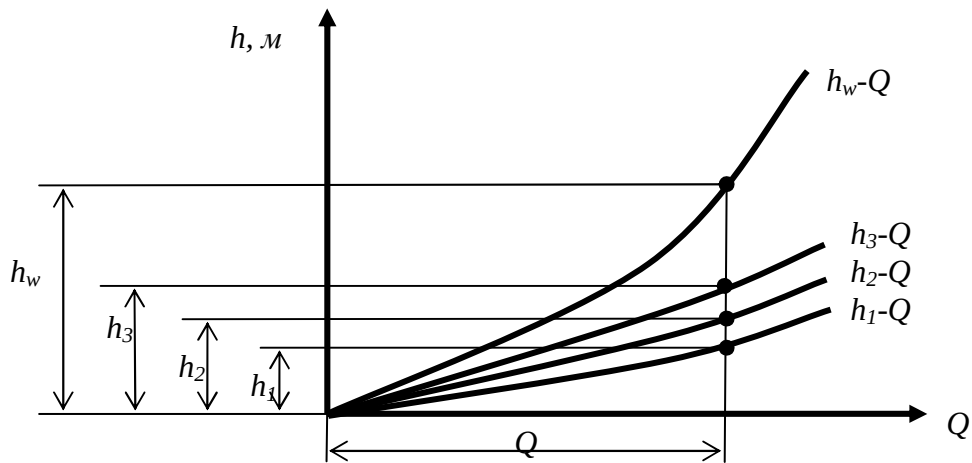


Рисунок 1.5 – Графік побудови сумарної характеристики трубопроводу з послідовним з'єднанням труб, який складається із трьох ділянок

На рисунку 1.6 зображений графік $h - Q$ побудови характеристик ділянок і сумарної характеристики для трубопроводу з паралельним з'єднанням труб.

Система складається із двох ділянок, характеристики яких $h - Q_1$ і $h - Q_2$. Сумарну характеристику $h_w - Q$ отримують шляхом графічного додавання абсцис (витрат) за однакових ординат (напорів). Графік дає змогу за заданої для системи величині втрат напору h_w визначити як сумарну витрату всієї системи $Q_1 + Q_2$, так і витрати на окремих ділянках Q_1 і Q_2 .

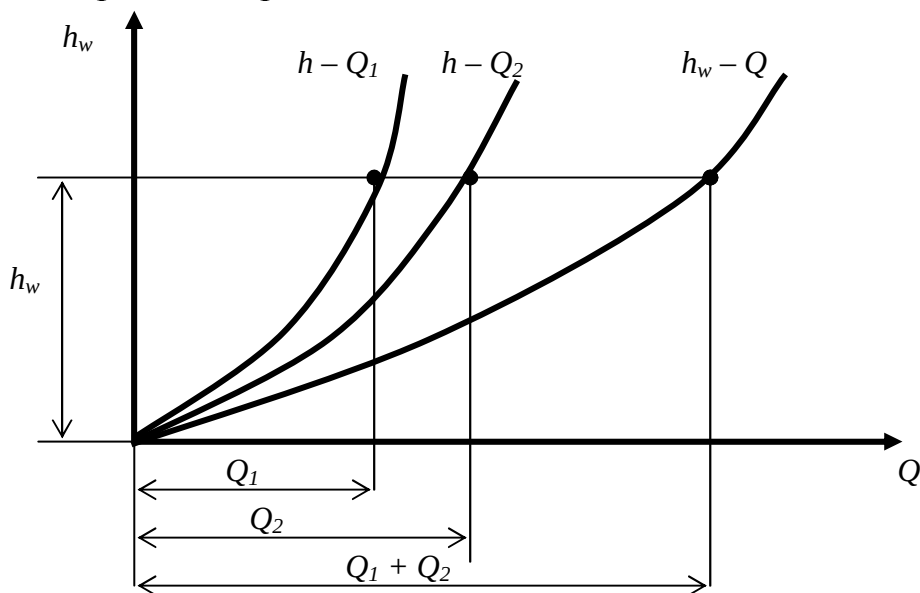


Рисунок 1.6 – Графік побудови характеристик ділянок і сумарної характеристики для трубопроводу з паралельним з'єднанням труб

Під час проектування насосних станцій вивчається розрахунковий режим роботи станції, рід рідини, що перекачується, інші особливості системи й обирається тип лопатевого насоса (К, Д, АТН, Ф, ОП, СМ тощо) [7–9].

Складається розрахункова схема насосної установки (насоси – трубопроводи) з урахуванням розташування резервуарів (джерел) і баків (споживачів), визначається геометричний напір H_z .

Насос перебуває в системі трубопроводів, і його робота безпосередньо залежить і визначається гідравлічними властивостями цієї системи.

В умовах усталеного руху для нестисненої рідини дотримуються таких рівнянь гідравліки:

- нерозривності руху рідини в системі (насос – трубопровід):

$$Q_{нас} = Q_{тр};$$

- збереження (балансу) енергії потоку:

$$H_{нас} = H_{тр}.$$

Таким чином, вибір марки насоса повинен проводитися одночасно з розрахунком трубопроводів системи.

Під час вибору марки насоса робоча точка має знаходитися в *зоні оптимуму*, тобто відповідати максимальному ККД насосної установки. У деяких випадках робоча точка розщмщується поза зону оптимуму, що може спричинити порушення в роботі насосної станції загалом. На рисунку 1.7 зображений графік роботи насоса за межами зони оптимуму [10].

Робота агрегата в зоні зліва від оптимальної точки (рис. 1.7) спричиняє:

- підвищення втрат напору в трубопроводі;
- зниження ККД;
- підвищення осьових та радіальних сил в насосі;
- рециркуляцію.

Це пришвидшує зношення агрегату, спричиняє нестабільність роботи, вібрації, шуму, кавітації.

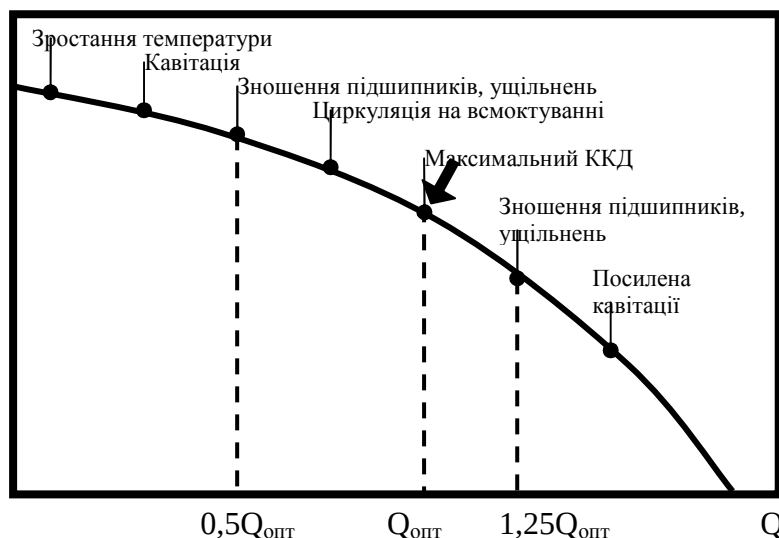


Рисунок 1.7 – Графік роботи насоса за межами зони оптимуму

Робота насоса в зоні справа від оптимальної точки спричиняє:

- підвищення втрат напору в трубопроводі;
- зниження ККД, що зменшує ефективність роботи машини;
- підвищення радіальних сил, що спричиняє вібрацію;
- підвищення енергоспоживання, іноді вище межі встановленої потужності електродвигуна, що спричиняє перегрів та виведення його з ладу.

Найбільш розповсюджена причина відхилення робочих параметрів насосів від розрахункових – вибір агрегатів із «запасом» за напором та подачею.

Якщо характеристики насосів наводяться у відповідних каталогах (паспортні дані), то характеристики трубопроводів визначаються шляхом гідравлічного розрахунку для конкретної системи.

За основу під час побудови характеристики трубопроводу ($H - Q_{mp}$) приймають рівняння [1–3]:

$$H = H_z + \sum h_w, \quad (1.39)$$

де H_z – геометрична висота підйому рідини, м, $H_z = \text{const}$ (для цієї системи);

$\sum h_w$ – сума втрат напору в трубопроводах, м.

$$\sum h_w = SQ^2, \quad (1.40)$$

де S – опір трубопроводу; $S = Al$;

A – питомий опір трубопроводу; $A = f(d)$;

l – довжина трубопроводу, м;

Q – витрата води, м³/с.

Задаючись рядом значень витрат Q (від нуля до розрахункової витрати) за формулою (1.39) визначають напір H . Отримані значення Q і H відкладають на поле графіка $H - Q$. З'єднуючи крапки плавною параболічною лінією, отримують характеристику трубопроводу $H - Q_{mp}$.

Сполучивши на полі графіка $H - Q$ дві характеристики – насоса й трубопроводу – у точці їхнього перетину отримують робочу (режимну) точку системи P , координатами якої є розрахункова подача Q_p і розрахунковий напір H_p . Точка P визначає режим роботи насоса на цей трубопровід (рис. 1.8).

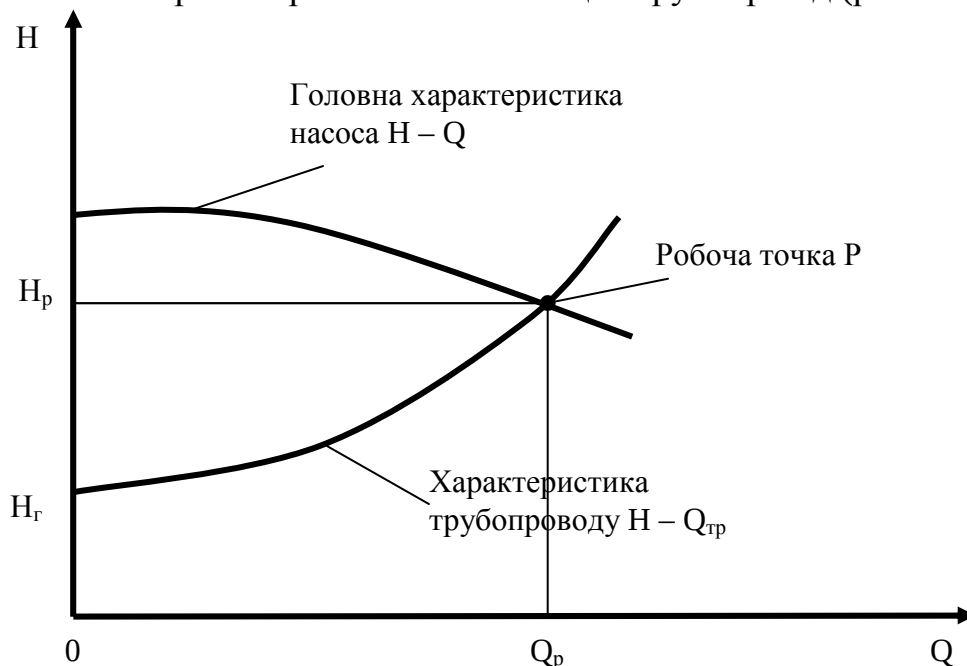


Рисунок 1.8 – Графік сумісної роботи системи «насос – трубопровід»

Вибір марки насоса цього типу робиться за допомогою зведеного графіка $H - Q$ за розрахунковими параметрами Q_p і H_p . Розрахункова точка, що відповідає координатам Q_p і H_p , зазвичай на зведеному графіку перебуває

нижче найближчої головної характеристики насоса певної марки (у випадку, коли робоча точка розташована вище характеристики насоса, насос не забезпечує розрахунковий напір), тобто за цієї розрахункової продуктивності є надлишковий напір $H_{надл}$. Якщо $H_{надл} < 2m$, насос приймається для системи без корегування. Коли $H_{надл} > 2m$, насос може бути прийнятий, але необхідні заходи щодо оптимізації його роботи.

1.4 Оптимальна робота насосної станції

Застосовують такі заходи з оптимізації роботи насоса (зниження надлишкових напорів $H_{надл}$) [4]:

- зміна кількості обертів робочого колеса;
- зрізання діаметра робочого колеса.

Відомо, що одним з видів рівнянь напору H відцентрових насосів, отриманих з рівняння Ейлера для лопатевих гідромашин, є формула:

$$H = \psi \frac{u_2^2}{2g}, \quad (1.41)$$

де ψ – коефіцієнт напору ($\psi = 0,9-1,1$);

u_2 – колова швидкість зовнішнього обводу робочого колеса, м/с: $u_2 = \omega R_2$;

R_2 – радіус зовнішнього обводу колеса: $R_2 = 0,5D_2$;

D_2 – діаметр зовнішнього обводу колеса;

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

n – кількість обертів робочого колеса, об./хв.: $u_2 = \frac{2\pi n}{60} \frac{D_2}{2} = \frac{\pi n D_2}{60}$.

Напір насоса

$$H = \psi \left(\frac{\pi D_2}{60} \right)^2 \frac{1}{2g}. \quad (1.42)$$

Напір насоса $H = f(n, D_2)$ функціонально визначається кількістю обертів робочого колеса (n) і його зовнішнім діаметром (D_2).

Зміна кількості обертів робочого колеса

З рівняння (1.42) випливає, що напір насоса H прямо пропорційний кількості обертів робочого колеса n . Змінюючи кількість обертів n , змінюють напір насоса H . Нехай під час підбору марки насоса розрахункова точка системи на полі графіка $H - Q$ займає положення P , з координатами Q_p і H_p (рис. 1.9).

Коли насос подає Q_p , точка P перебуває нижче відповідної точки B щодо головної характеристики насоса $H - Q$ за кількості обертів n . У разі Q_p має місце надлишковий напір $H_{надл} = H_b - H_p$, який необхідно «погасити» шляхом зменшення частоти обертання колеса з n до n' . Кількість обертів n' , за якої Q_p і H_p відповідають робочій точці P , визначають, використовуючи положення закону подібності лопатевих насосів.

Закон подібності ($D_2 = \text{const}$) за зміни кількості обертів з n до n' можна записати так:

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{n}{n'}; \quad (1.43)$$

$$\frac{H}{H'} = \left(\frac{n}{n'}\right)^2; \quad (1.44)$$

$$\frac{N}{N'} = \left(\frac{n}{n'}\right)^3. \quad (1.45)$$

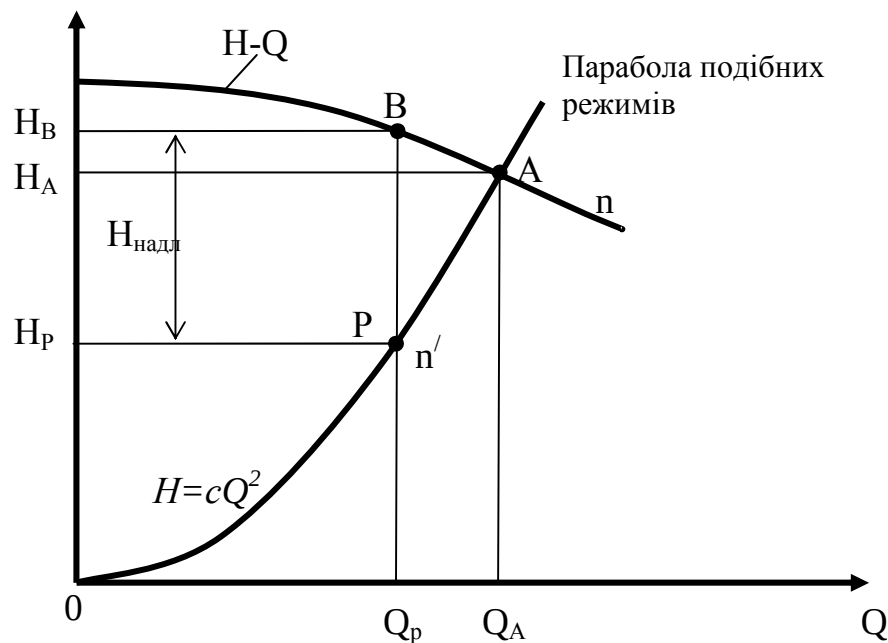


Рисунок 1.9 – Зміна головної характеристики насоса під час зміни кількості обертів робочого колеса

З рівнянь (1.43) – (1.44):

$$\left(\frac{Q}{Q'}\right)^2 = \frac{H}{H'}; \Rightarrow H = \frac{H'}{Q'^2} Q^2; \Rightarrow \frac{H'}{Q'^2} = c = \text{const};$$

$$H = cQ^2. \quad (1.46)$$

Рівняння (1.46) називають *рівнянням параболы подібних режимів*, вершина якої перебуває у початку координат. Необхідно розрахувати й побудувати таку параболу. За заданими параметрами Q_p і H_p визначається коефіцієнт:

$$c = \frac{H_p}{Q_p^2} - \text{const}.$$

Довільно задаючись декількома значеннями Q_i (близько 10), за формулою (1.46) визначають H_i . Побудована на графіку $H - Q$ за знайденими точками

$(Q_i; H_i)$ парабола подібних режимів $0 - P - A$ проходить через точку P і перетинає головну характеристику насоса $(H - Q)$ у точці A з координатами Q_a і H_a (рис. 1.9). Парабола $0 - P - A$ – геометричне місце точок, подібних між собою. Точки P і A подібні. Із закону пропорційності (рівняння (1.43) – (1.44)) визначається кількість обертів n' за однією з формул:

$$n' = n \frac{Q_p}{Q_a} \text{ або } n' = n \sqrt{\frac{H_p}{H_a}}. \quad (1.47)$$

Зниження частоти обертання робочого колеса насоса може здійснюватися шляхом або агрегатування з електродвигуном зменшеної кількості обертів, або використання інших типів двигунів, здатних змінювати кількість обертів.

Режим роботи насоса зі зниженою частотою обертання колеса допускається, але збільшення кількості обертів більш ніж на 15 % повинне бути погоджене із заводом-виготовлювачем.

Коли агрегують насоси з електродвигунами іншої кількості обертів, виникає необхідність обчислення нових характеристик $(H' - Q; N' - Q; \eta' - Q)$. Такі характеристики отримують шляхом проведення розрахунків, не використовуючи стендових випробувань.

Методика перерахування характеристик з n на n' проста. За довільно обраних значень Q (близько 10) за паспортними характеристиками насоса ($n = \text{const}$) встановлюють значення H, N, η . Нові значення (при n') Q', H', N', η' визначають за формулами:

$$Q' = Q \frac{n'}{n}; H' = H \left(\frac{n'}{n} \right)^2; N' = N \left(\frac{n'}{n} \right)^3. \quad (1.48)$$

У разі незначної зміни кількості обертів зміну ККД не враховують ($\eta = \eta'$), але через зсув ординат Q' крива $\eta - Q'$ на полі графіка переміщується вліво. За даними формул (1.48) будують нові характеристики $H' - Q'; N' - Q'; \eta' - Q'$ при n' (рис. 1.10 – пунктирні лінії).

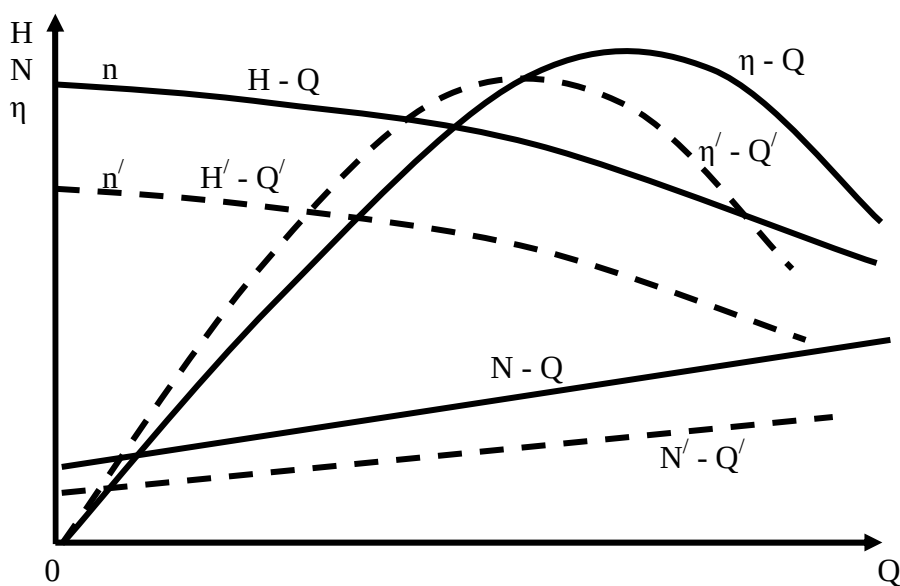


Рисунок 1.10 – Зміна характеристик насоса у разі зміни кількості обертів робочого колеса

Розвиток методів автоматизації на сучасному етапі у водопровідно-каналізаційному господарстві (ВКГ) досяг досить високого рівня. Останнім часом автоматизація у ВКГ розвивається переважно в напрямку створення автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП). Такі системи поєднують у собі комп'ютерну і мікропроцесорну техніку, математичні методи, а також прилади, засоби регулювання та управління [11].

Зазвичай схема роботи системи така. На кожному об'єкті, що належить до АСУ ТП, встановлюється мікроконтролер, який забезпечує збір інформації від давачів стану устаткування за параметрами, які вимірюють (тиск, витрата води, рівень у резервуарах, струм насосних агрегатів, витрата електроенергії). Далі каналами зв'язку (провідний, радіо, або GSM) інформація передається на центральний диспетчерський пункт (ЦДП) підприємства, на якому встановлений комп'ютер. Диспетчер може віднайти на комп'ютері будь-який об'єкт, відобразити схему об'єкта з працюючим устаткуванням і значеннями параметрів, а також керувати пуском – зупинкою насосних агрегатів, регулюванням засувками або приводом насосів, що регулюється. У систему подачі та розподілу води на ЦДП надходить також інформація про напори з контрольних точок мережі водопостачання. Контрольні точки обладнуються в місцях найбільш віддалених від насосних станцій, на підвищених геодезичних відмітках, які характеризують напори в прилеглій мережі. Інформація з контрольних точок передається на ЦДП, і за нею ведеться регулювання напорів на виходах насосних станцій.

На водоочисних станціях створюються автономні АСУ ТП, одночасно диспетчер станції здійснює контроль та управління насосними станціями I і II підйомів, очисними спорудами (фільтри, відстійники, реагентне господарство). Особливо ефективна автоматизація фільтрувальних блоків, де економія досягається шляхом зниження витрати промивної води та оптимізації тривалості фільтроциклу.

Автоматизація каналізаційних станцій здійснюється шляхом створення цифрових систем управління КНС (з використанням сучасних приладів обліку, контролю, мікропроцесорної техніки й засобів регулювання) та телемеханічного контролю роботи з ЦДП. На КОС також створюються автономні АСУ ТП. АСУ ТП станцій біологічної очистки дають змогу диспетчеру керувати процесом аерації у аеротенках, насосними станціями перекачування активного мулу та очищених стічних вод тощо [12].

Як показує практика, створення АСУ ТП дає змогу домогтися економії електроенергії у системі водопостачання від 10 до 20 %.

Необхідно зазначити, що найбільший ефект від впровадження АСУ ТП досягається в сукупності із застосуванням регульованого електроприводу насосних агрегатів (частотний перетворювач).

Хоча, слід зазначити, що у випадку створення АСУ ТП КНС та КОС (повітродувні станції) встановлення регульованого електроприводу є не завжди доцільним. Тому це питання потрібно попередньо вивчити. У цьому разі має доцільно застосовувати пристрої плавного пуску електродвигунів насосних агрегатів.

Важливим наслідком упровадження автоматизації є не тільки економія електроенергії, але й ряд інших позитивних факторів:

- збільшення терміну служби устаткування та арматури;
- зниження аварійності в мережах і на спорудах;
- підвищення загальної культури ведення технологічних процесів;
- поліпшення умов праці персоналу тощо.

У наш час під час створення автоматизованих систем управління технологічними процесами на насосних станціях найбільш перспективним є застосування регульованого електроприводу (частотного перетворювача).

Умови, за яких доцільно застосовувати частотний електропривід, сформульовані Б. С. Лезновим [13]:

- насосна водопровідна установка подає воду безпосередньо в мережу (насосні станції II, III підйомів, станції підкачування);
- об'єм приймальних резервуарів каналізаційних та інших насосних станцій не перевищує звичайних розмірів, тобто його ємність не перевищує 5–10 – хвилинної подачі найбільшого насоса;
- діапазон коливань водоспоживання та притоку достатньо великий (не менше 15–20 % максимальної подачі);
- динамічна складова водоподачі достатньо велика (не менше 20–30 % загальної висоти підйому рідини);
- в окремих випадках, наприклад для забезпечення рівномірного режиму роботи очисних споруд;
- за потужності насосних агрегатів 75–100 кВт та вище.

Застосування частотного електроприводу для насосів потужністю 300 – 400 кВт та вище зазвичай дуже трудомістке, тому що вони забезпечуються високовольтними електродвигунами, а це різко ускладнює та робить дорожчою установку.

Таким чином, привід, що регулюється, має істотні обмеження щодо широкого використання та для визначення його економічної вигоди необхідно детально проаналізувати систему перекачування [14].

З огляду на нерівномірний характер водоспоживання, щодо насосних станцій виникла вкрай гостра необхідність плавного регулювання їхньої продуктивності (напір та подача).

Традиційно продуктивність насосних станцій у системах водопостачання та водовідведення регулювалася ступінчасто або дроселюванням напірних засувок. Як показали багаторічні спостереження за такою роботою систем «насос – трубопровід», такі способи регулювання є неекономічними. Крім того, збільшується зношення устаткування через часті пуски й зупинки агрегатів; частіше виходять з ладу напірні засувки внаслідок того, що засувка є запірною арматурою і не призначена для регулювання.

Плавне регулювання продуктивності насосних агрегатів може бути забезпечено кількома способами [15]:

- шляхом застосування двигунів постійного струму, кількість обертів яких змінюють через регулювання напруги живлення;

- шляхом застосування різноманітних муфт ковзання (індукційних, гідравлічних, електромагнітних);
- шляхом зміни частоти напруги електроживлення двигуна агрегату (регульований електропривід).

Найбільш поширений у наш час є останній спосіб, під час використання якого в спеціальному частотному перетворювачі (тиристорному, транзисторному) напруга частотою 50 Гц може бути перетворена в напругу заданої частоти (0–50 Гц). Як відомо, швидкість обертання електродвигуна прямо пропорційна частоті напруги живлення. Змінюючи кількість обертів, можна домогтися зміни подачі Q , напору H і потужності N за такою залежністю:

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \frac{n_1}{n_0}; \frac{H_1}{H_0} = \left(\frac{n_1}{n_0} \right)^2; \frac{N_1}{N_0} = \left(\frac{n_1}{n_0} \right)^3, \quad (1.49)$$

де n_1 і n_0 – кількість обертів електродвигуна за зміненої (n_1) і номінальної (n_0) частоти напруги живлення;

H_1 і H_0 – напір насосного агрегата за зміненої (n_1) і номінальної (n_0) частоти напруги живлення;

Q_1 і Q_0 – подача насосного агрегата за зміненої (n_1) і номінальної (n_0) частоти напруги живлення;

N_1 і N_0 – потужність, споживана агрегатом за зміненої (n_1) і номінальної (n_0) частоти напруги живлення.

Розглянемо методи регулювання подачі і напору. Регулювання шляхом дроселювання зводиться до зменшення поперечного перерізу потоку води в трубопроводі, що зумовлює додаткові витрати електроенергії, тому що насос постійно повинен переборювати протитиск, створений напірною засувкою.

Потужність, що споживається насосом, знаходимо за формулою:

$$P = \frac{Q \cdot H \cdot \rho \cdot g}{\eta}, \quad (1.50)$$

де P – потужність, кВт;

Q – подача, м³/с;

H – напір, м;

ρ – щільність;

g – прискорення вільного падіння;

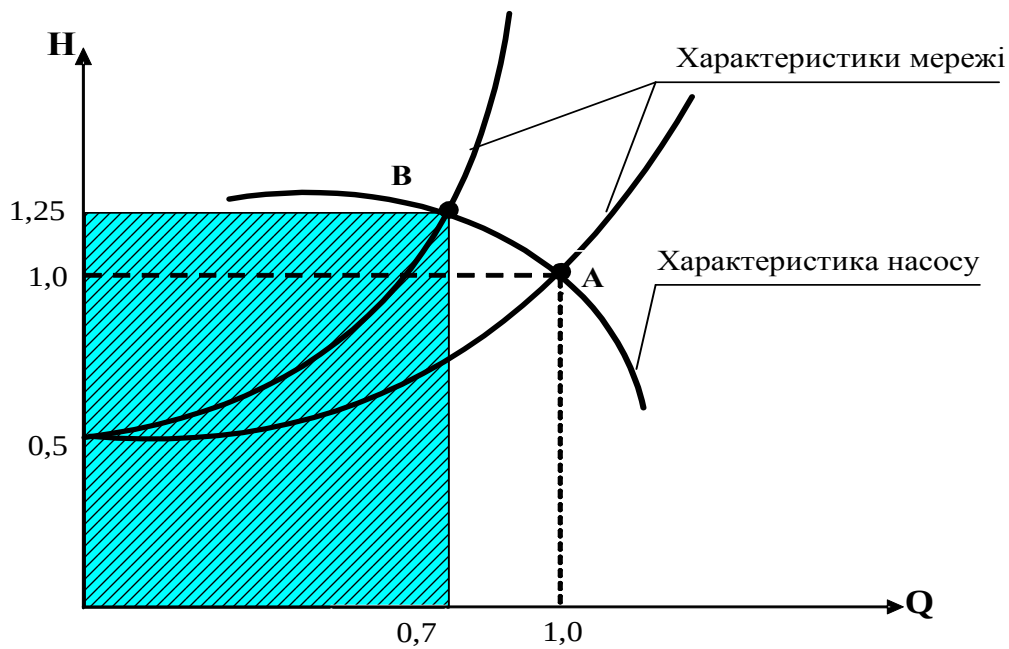
η – ККД насоса.

З формули (1.50) зрозуміло, що потужність прямо залежна від добутку подачі Q та напору H .

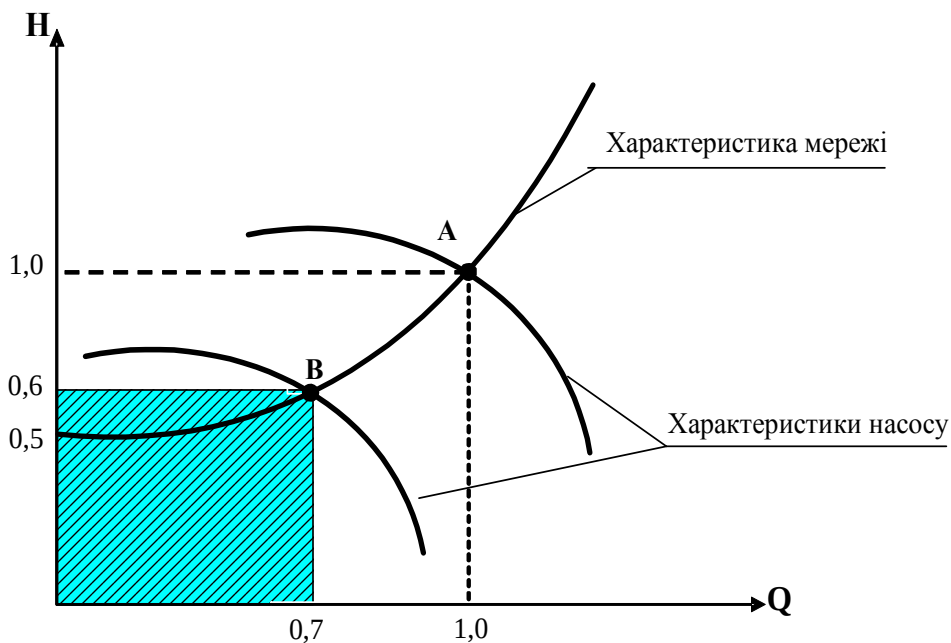
На рисунку 1.11 розглянуто графіки характеристик насоса та мережі.

На рисунку 1.11, а подано зміну характеристик мережі під час регулювання подачі й напору насоса за допомогою дроселювання напірною засувкою, характеристика насоса у цьому разі залишається незмінною. Точка А є робочою точкою з максимальною подачею, до того ж потрібна потужність дорівнює:

$1 \times 1 = 1$. Точка В є робочою точкою за 70 % подачі: $Q = 0,7$; $H = 1,25$. Потрібна потужність дорівнює: $0,7 \times 1,25 = 0,875$.



а)



б)

Рисунок 1.11 – Графіки характеристик насоса та мережі:

- а) характеристика $Q - H$ насоса та мережі під час дроселювання напірною засувкою;
- б) характеристики $Q - H$ під час зміни кількості обертів насоса за допомогою електроприводу, що регулюється

На рисунку 1.11, б наведено зміну характеристик під час регулювання продуктивності насоса шляхом управління швидкістю обертання внаслідок встановлення електроприводу, що регулюється. До того ж характеристика

насоса зсувається паралельно до паспортної щодо початку координат, а характеристика мережі залишається незмінною. Точка А є робочою з максимальною подачею. Потрібна потужність дорівнює: $1 \times 1 = 1$. Точка В є робочою точкою за 70 % подачі: $Q = 0,7$; $H = 0,6$. Потрібна потужність дорівнює: $0,7 \times 0,6 = 0,42$.

Як бачимо з рисунок 1.11, потрібна потужність (заштрихована ділянка) під час застосування електроприводу, що регулюється, майже в два рази менша, ніж під час регулювання подачі і напору насоса за допомогою дроселювання напірною засувкою(рис. 1.11, а, б).

Застосування електроприводу, що регулюється, крім економії електроенергії, спричиняє такі позитивні результати:

- зменшення аварійності на водомережі внаслідок унеможливлення поштовхів та гідроударів під час регулювання і плавного пуску чи зупинки агрегатів;
- збільшення моторесурсу насосних агрегатів і запірної арматури.

Вплив роботи насоса з частотним регулюванням на мережу з переважаючою статичною складовою наведено на рисунку 1.12.

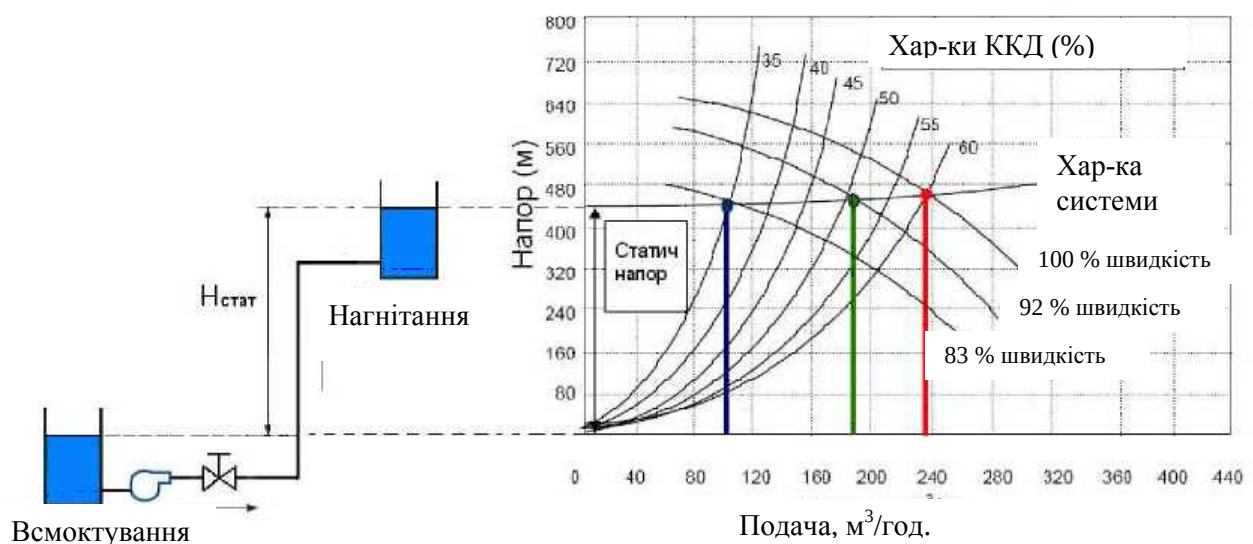


Рисунок 1.12 – Вплив роботи насоса з частотним регулюванням на мережу з переважаючою статичною складовою

Якщо за номінальної частоти обертання ККД насосного агрегата складає 60 %, то зниження до 83 % від номіналу спричиняє зниження ККД до 35 % (рис. 1.12).

Таким чином, у разі впливу роботи відцентрового насоса на мережу з переважаючою статичною складовою застосування частотного приводу є нераціональним і потребує більш ретельного аналізу та врахування інших факторів.

На рисунку 1.13 наведена схема впливу роботи насоса з частотним регулюванням на мережу з переважаючими втратами на тертя.

Під час аналізу схеми, наведеної на рисунку 1.13, можна зробити

висновок, що частотне регулювання є оптимальним рішенням у разі впливу роботи на систему з динамічною складовою. За рисунком 1.13, значення ККД у діапазоні регулювання залишається постійним.

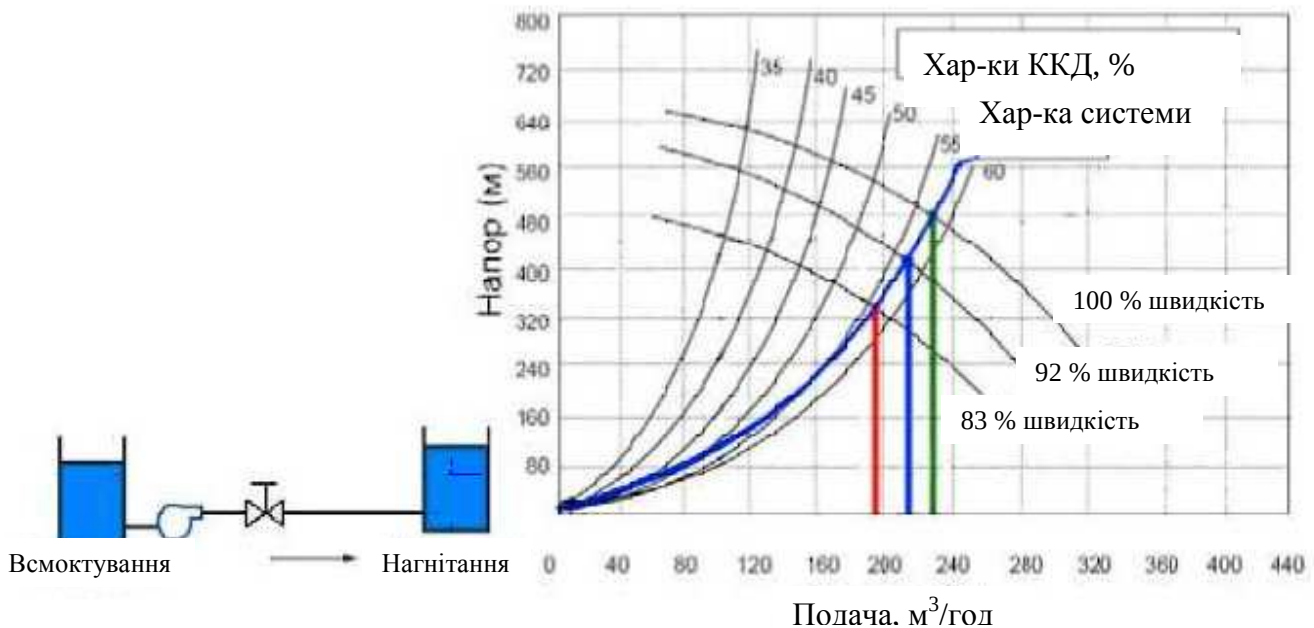


Рисунок 1.13 – Схема впливу роботи насоса з частотним регулюванням на мережу з переважними втратами на тертя

Найбільший ефект від застосування електроприводу, що регулюється, досягається під час побудови на його базі систем автоматичного управління (САУ) насосними станціями. До того ж напір може автоматично підтримуватися за заданим значенням напору в контрольній точці мережі або на виході насосної станції чи за рівнем у приймальному резервуарі каналізаційної насосної станції.

Зрізування діаметра робочого колеса

За формулою (1.42), напір насоса прямо пропорційний діаметру зовнішнього колеса робочого колеса D_2 (далі $D_2 = D$). Зниження напору насоса може бути виконано шляхом підрізування робочого колеса на токарському верстаті з діаметра D (номінальний) до $D_{зр}$.

Під час підбору марки насоса робоча точка P (Q_p ; H_p) розташована на графіку H , Q нижче головної характеристики $H - Q$ (номінальний діаметр) (рис. 1.14) [1–3].

За Q_p надлишковий напір $H_{надл} = H_в - H_p$. Виключити $H_{надл}$ можна шляхом зміни діаметра колеса, зрізавши його з D до $D_{зр}$. Методика визначення діаметра $D_{зр}$, за якого напір H_p і подача насоса Q_p збалансовані, має свою особливість. Робоче колесо, номінальне та обрізане, – не подібні; обрізування колеса спотворює співвідношення робочих параметрів – закон подібності не виконується.

Співвідношення параметрів під час зрізування колеса визначене експериментально залежно від величини коефіцієнта швидкохідності n_s .

Для швидкохідних насосів ($n_s > 150$):

$$\frac{Q}{Q_{зр}} = \left(\frac{D}{D_{зр}} \right)^2; \quad (1.49)$$

$$\frac{H}{H_{зр}} = \left(\frac{D}{D_{зр}} \right)^3. \quad (1.50)$$

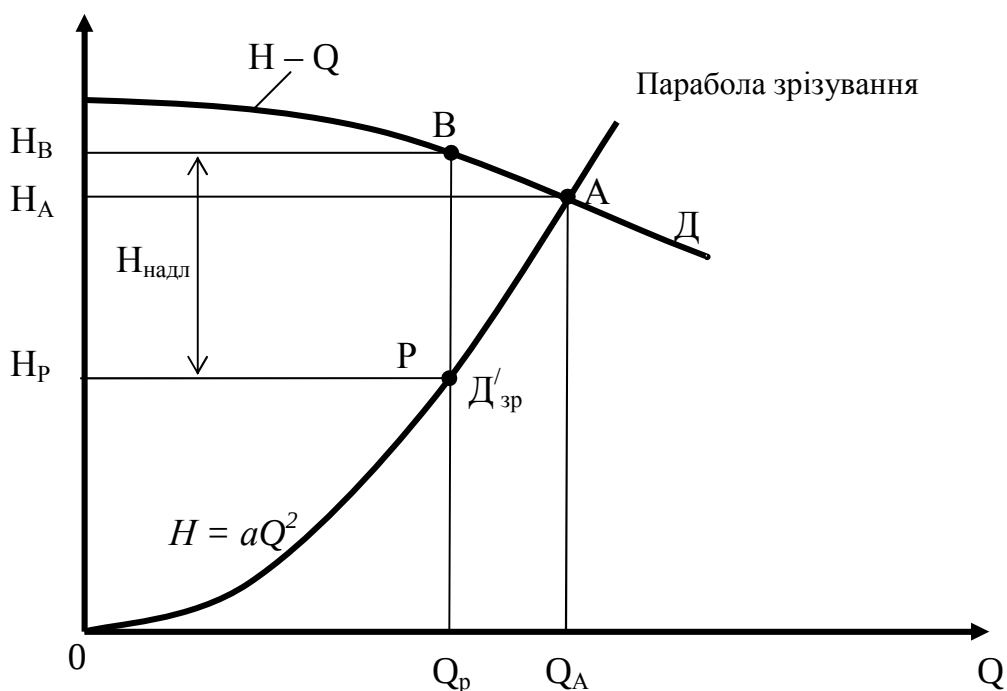


Рисунок 1.14 – Зміна головної характеристики насоса у разі зрізування діаметра робочого колеса

Для тихохідних і нормальної швидкохідності ($n_s < 150$):

$$\frac{Q}{Q_{зр}} = \frac{D}{D_{зр}}; \quad (1.51)$$

$$\frac{H}{H_{зр}} = \left(\frac{D}{D_{зр}} \right)^2. \quad (1.52)$$

Розглянемо методику визначення $D_{зр}$ для насосів цієї групи. З (1.51) і (1.52):

$$\left(\frac{Q}{Q_{зр}} \right)^2 = \frac{H}{H_{зр}}; H = \frac{H_{зр}}{Q_{зр}^2} Q^2; \frac{H_{зр}}{Q_{зр}^2} = a - const; \\ H = aQ^2. \quad (1.53)$$

Рівняння (1.53) називають рівнянням параболы зрізування – квадратична парабола з вершиною в початку координат. Необхідно розрахувати й

побудувати параболу зрізування.

За даними розрахункових параметрів H_p та Q_p визначається коефіцієнт $a = \frac{H_p}{Q_p^2} \cdot \text{const.}$ Задаючись довільно декількома значеннями Q_i , за формулою

(1.53) визначають H_i . За знайденими точками $(Q_i - H_i)$ будується парабола зрізування $O - P - A$, що проходить через точку $P (Q_p \text{ і } H_p)$ і перетинає головну характеристику в точці $A (Q_a \text{ і } H_a)$. Точки A і P , що перебувають на квадратичній параболі, підпорядковуються експериментальним залежностям ((1.51) і (1.52)).

Діаметр підрізаного колеса D_{zp} визначають за двома формулами:

– за (1.51):

$$D_{zp} = D \frac{Q_p}{Q_a}; \quad (1.54)$$

– за (1.52):

$$D_{zp} = D \sqrt{\frac{H_p}{H_a}}. \quad (1.55)$$

З отриманих значень D_{zp} обирається найбільше. Величина зрізування робочого колеса (у відсотках):

$$\frac{D - D_{zp}}{D} 100. \quad (1.56)$$

Межі припустимого зрізування колеса у відсотках:

- за $n_s = 60 - 120$ 20–15 %;
- за $n_s = 120 - 200$ 15–11 %;
- за $n_s = 200 - 300$ 11–7 %.

Нові характеристики насоса (за D_{zp}) можуть бути отримані шляхом проведення розрахунків. За довільно взятих витратах Q за паспортними характеристиками насоса (D) встановлюють H , N , η . Нові значення параметрів (за D_{zp}) визначають за формулами (для $n_s < 150$):

$$Q' = Q \frac{D_{zp}}{D}; \quad (1.57)$$

$$H' = H \left(\frac{D_{zp}}{D} \right)^2; \quad (1.58)$$

$$N' = N \left(\frac{D_{zp}}{D} \right)^3; \quad (1.59)$$

$$n_{zp} = 1 - (1 - \eta_a) \left(\frac{D}{D_{zp}} \right)^{0,25}. \quad (1.60)$$

Характеристики насоса (паспортні у разі номінального діаметра робочого колеса D – суцільна лінія) і характеристики для $D_{зр}$ (пунктирна лінія) наведені на рисунку 1.15.

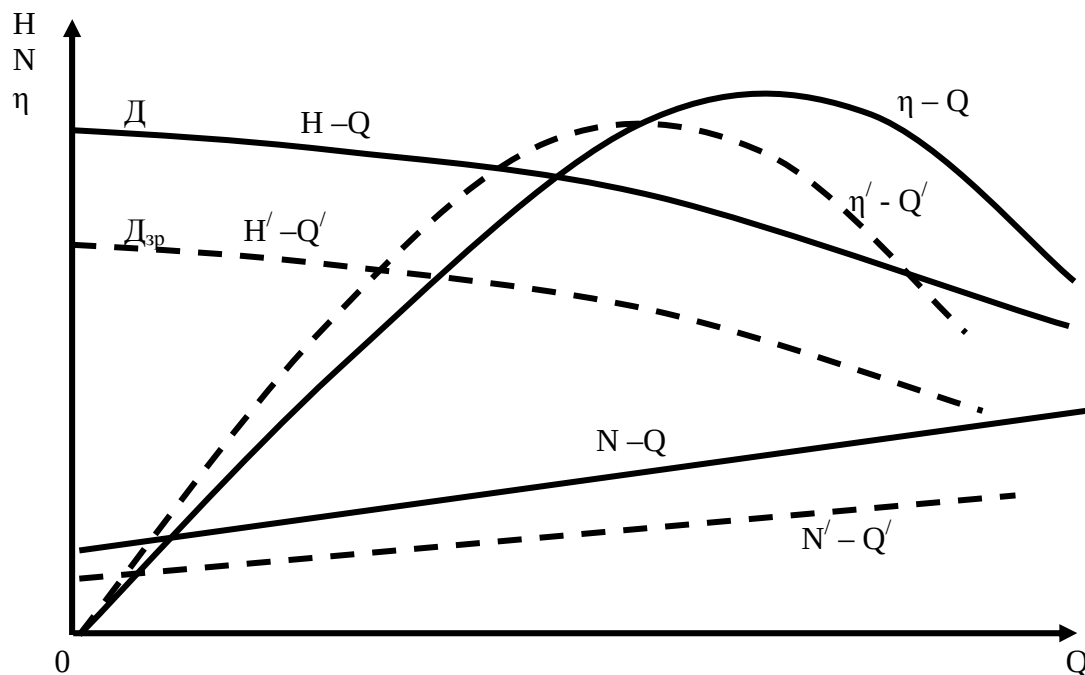


Рисунок 1.15 – Зміна характеристик насоса під час зрізання діаметра робочого колеса

1.5 Розширення сфери застосування насосів

Розрахунок і вибір насосно-силового устаткування насосних станцій систем водопостачання і каналізації передбачає роботу системи в умовах максимальних ККД. До того ж основні параметри станції є оптимальними.

Технологічний процес з перекачування рідини в окремих випадках є стабільним, постійним у часі, коли продуктивність, напір, інші параметри є оптимальними, а ККД – $\eta_{\max}$. Відхилення ККД η від його максимального значення $\eta_{\max}$ може бути настільки великим, що робота насоса економічно недоцільна. Відхилення ККД від $\eta_{\max}$ регламентовані. Допускається робота насоса у разі відхиленні ККД на 7–10 % від максимального значення – $\eta_{\min} = 0,9\eta_{\max}$.

На графіку характеристик насоса може бути виділена область, яку називають робочим полем характеристик, із припустимими значеннями ККД (рис. 1.16) [4].

Мінімальне значення ККД $\eta_{\min}$, припустиме під час роботи цього насоса, визначає ділянку ab головної характеристики $H - Q$, для всіх точок якого $\eta > \eta_{\min}$. Параболи oa і ov обмежують робоче поле насоса; насос може експлуатуватися в діапазоні $Q' - Q''$. У паспорті насоса цю ділянку головної характеристики виокремлюють обмежувальними рисками.

Розширення сфери застосування насосів можливо здійснювати також іншими способами:

- шляхом зміни кількості обертів робочого колеса;
- шляхом зрізання робочого колеса.

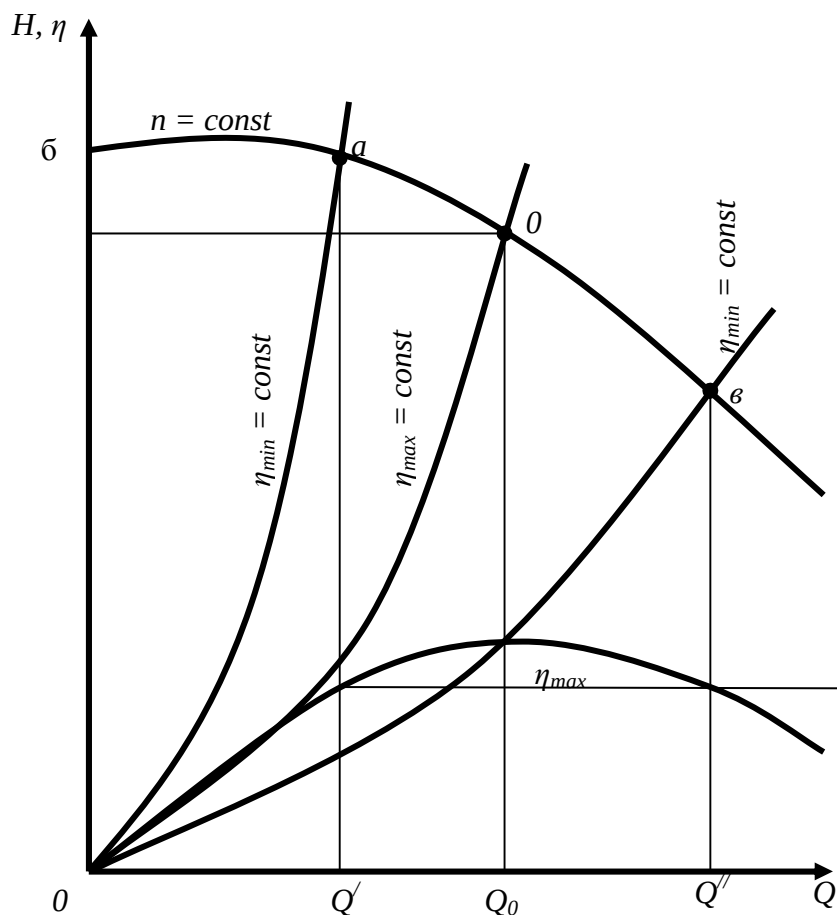


Рисунок 1.16 – Графік визначення «робочої зони» насоса

На рисунку 1.17 наведений графік характеристик насоса за кількості обертів робочого колеса від $n_{\min}$ до $n_{\max}$.

Ізолініями (параболами подібних режимів) мінімальних ККД ($0da$ та $0cb$), виділяється площа $abcd$, що становить собою робоче поле характеристик, для всіх крапок якого $\eta \geq \eta_{\min}$.

На рисунку 1.18 наведено графік характеристик насоса у разі зрізання робочого колеса з D до D' (головні характеристики відповідно $H - Q$ і $H' - Q'$ за $n - \text{const}$).

Параболами зрізування за $\eta_{\min}$ виділяється ділянка $abcd$, що є робочим полем характеристик за $\eta > \eta_{\min}$.

У паспорті насоса наводяться характеристики, що відповідають припустимому зрізуванню.

Обрізування робочих коліс істотно розширює сферу застосування насосів за продуктивністю та напором.

Обрізування коліс може здійснюватися як у заводських умовах, так і на виробництві.

Відсоток підрізування визначається коефіцієнтами швидкохідності n_s .

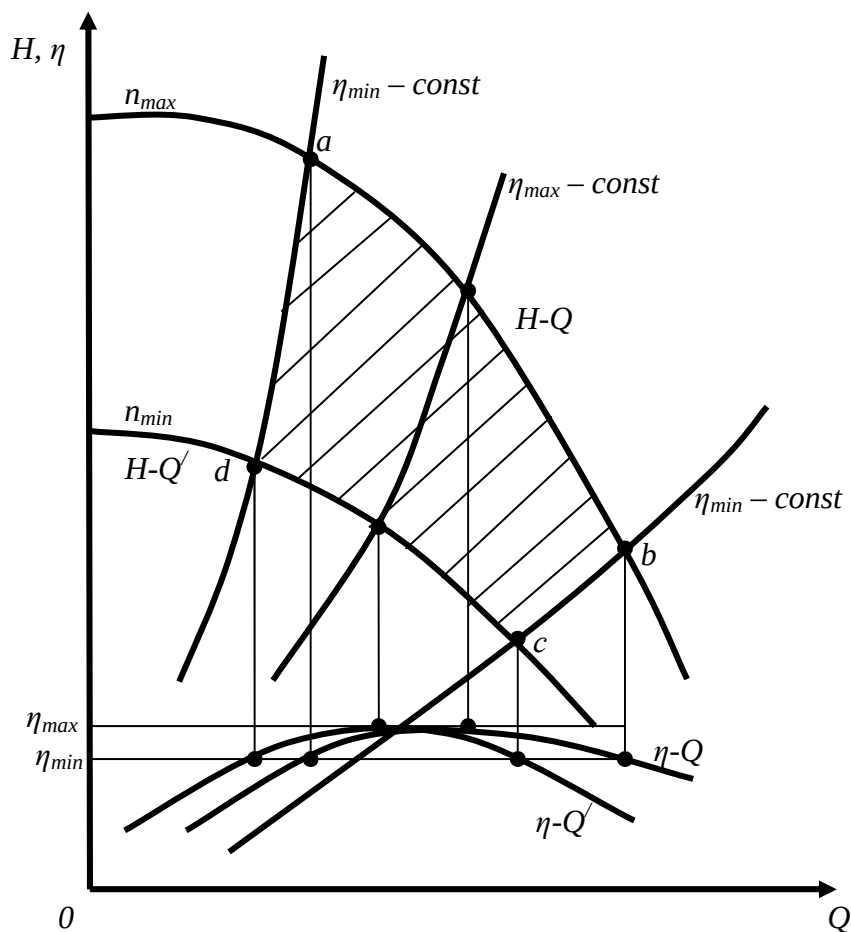


Рисунок 1.17 – Графік характеристик насоса за кількості обертів робочого колеса від n_{min} до n_{max}

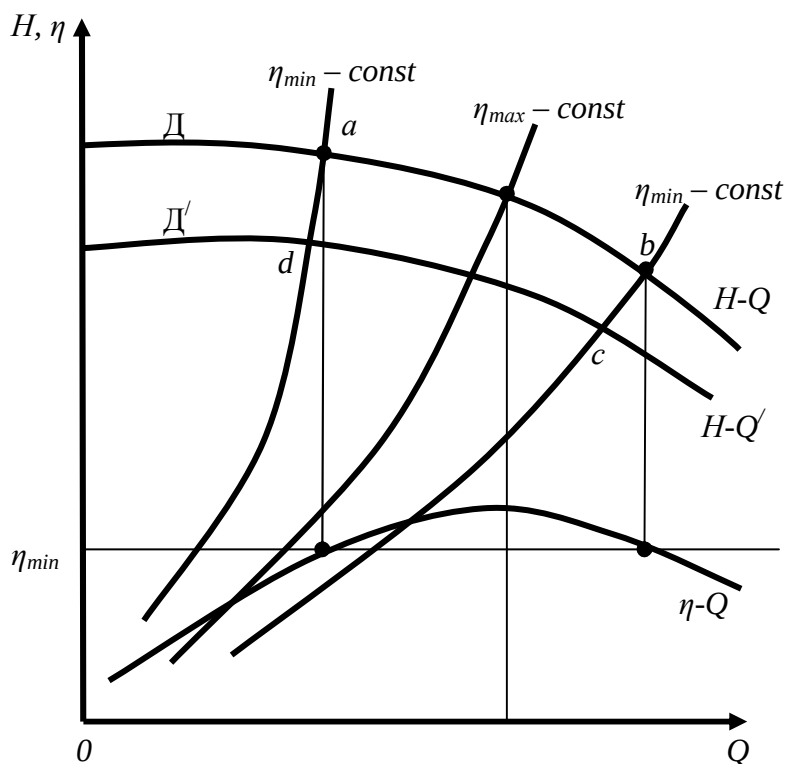


Рисунок 1.18 – Графік характеристик насоса у разі зрізування робочого колеса

У каталогах насосів наводяться зведені графіки робочих полів головних характеристик при $n = \text{const}$, з урахуванням максимально припустимого підрізання робочого колеса.

1.6 Сумісна робота насосів

Насосні станції систем водопостачання та каналізації з метою раціонального виконання їхніх функцій у загальному комплексі елементів систем зазвичай оснащуються декількома насосними агрегатами, що працюють на загальну трубопровідну мережу.

Залежно від вимог споживача за витратами і напорами насосні агрегати можуть бути з'єднані послідовно або паралельно. Основні параметри насосної станції отримують за допомогою сумарних характеристик групи агрегатів за конкретними варіантами, вони наводяться нижче [1–4].

Послідовне з'єднання агрегатів збільшує напір насосної станції. У цьому випадку напірний трубопровід одного насоса приєднується до усмоктувального патрубку наступного. На рисунку 1.19 наведений графік характеристик $H - Q_{I,II}$ двох насосів однієї марки (їхні характеристики збігаються) і трубопроводу $H - Q_{тр}$, на який працює насосна станція.

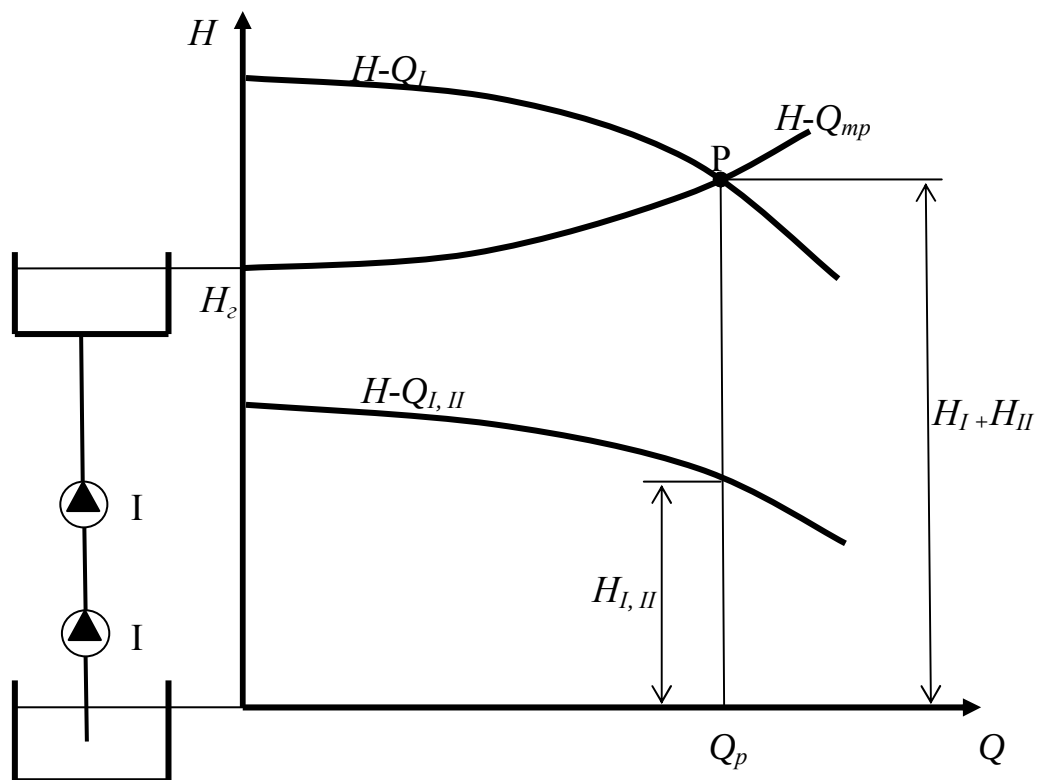


Рисунок 1.19 – Послідовне з'єднання однотипних насосів

Сумарна головна характеристика $H - Q_{I+II}$ двох насосів утворюється шляхом складання ординат напорів H за довільно взятих значень продуктивності Q (загальний напір дорівнює сумі напорів двох насосів за $Q = \text{const}$).

Перетин сумарної характеристики $H - Q_{I+II}$ з характеристикою трубопроводу $H - Q_{mp}$ – робоча (режимна) точка P системи, координати якої визначають напір H_{I+II} і продуктивність Q_p насосної станції.

На рисунку 1.20 наведено графік характеристик двох насосів різних марок $H - Q_I$ та $H - Q_{II}$, з'єднаних послідовно, що працюють на трубопровід з характеристикою $H - Q_{mp}$. Режимна точка P отримана за тією ж методикою, як й у попередньому випадку.

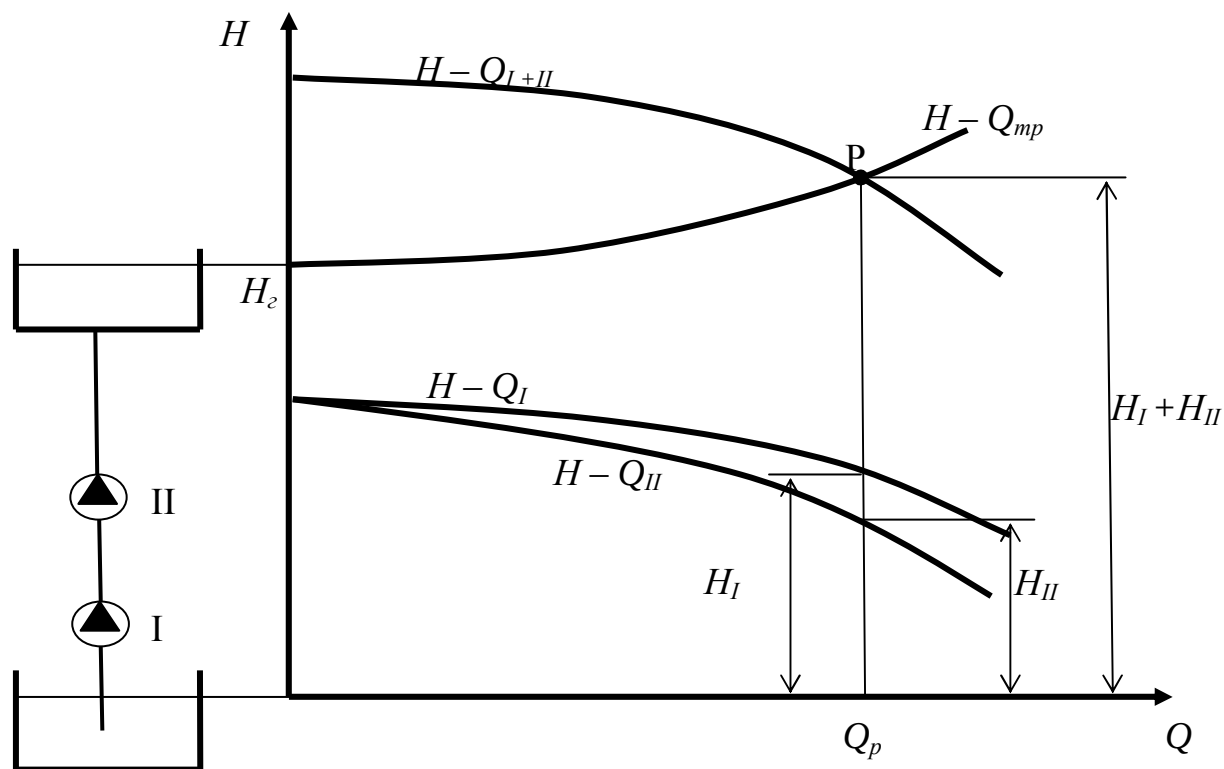


Рисунок 1.20 – Графік характеристик двох насосів різних марок, з'єднаних послідовно

Аналіз послідовної роботи насосів свідчить, що в певних випадках рідина, що підводиться до вхідного патрубку насоса II, може мати надмірно високий манометричний тиск (від насоса I), що перевищує припустимий.

Необхідно збільшити відстань між насосами I і II до безпечної для насоса II точки, тиск у якій визначається за допомогою побудови п'єзометричної лінії напірного трубопроводу насоса I.

Паралельне з'єднання агрегатів насосних станцій не тільки підвищує продуктивність системи, але й забезпечує регулювання подач, наближаючи їх до графіків водоспоживання (водовідведення), які зазвичай відрізняються великою нерівномірністю.

Розглянемо роботу двох паралельно з'єднаних насосів однієї марки на прикладі графіка $H - Q$ (рис. 1.21). Характеристики насосів I та II на графіку у разі накладення збігаються – $H - Q_{I,II}$.

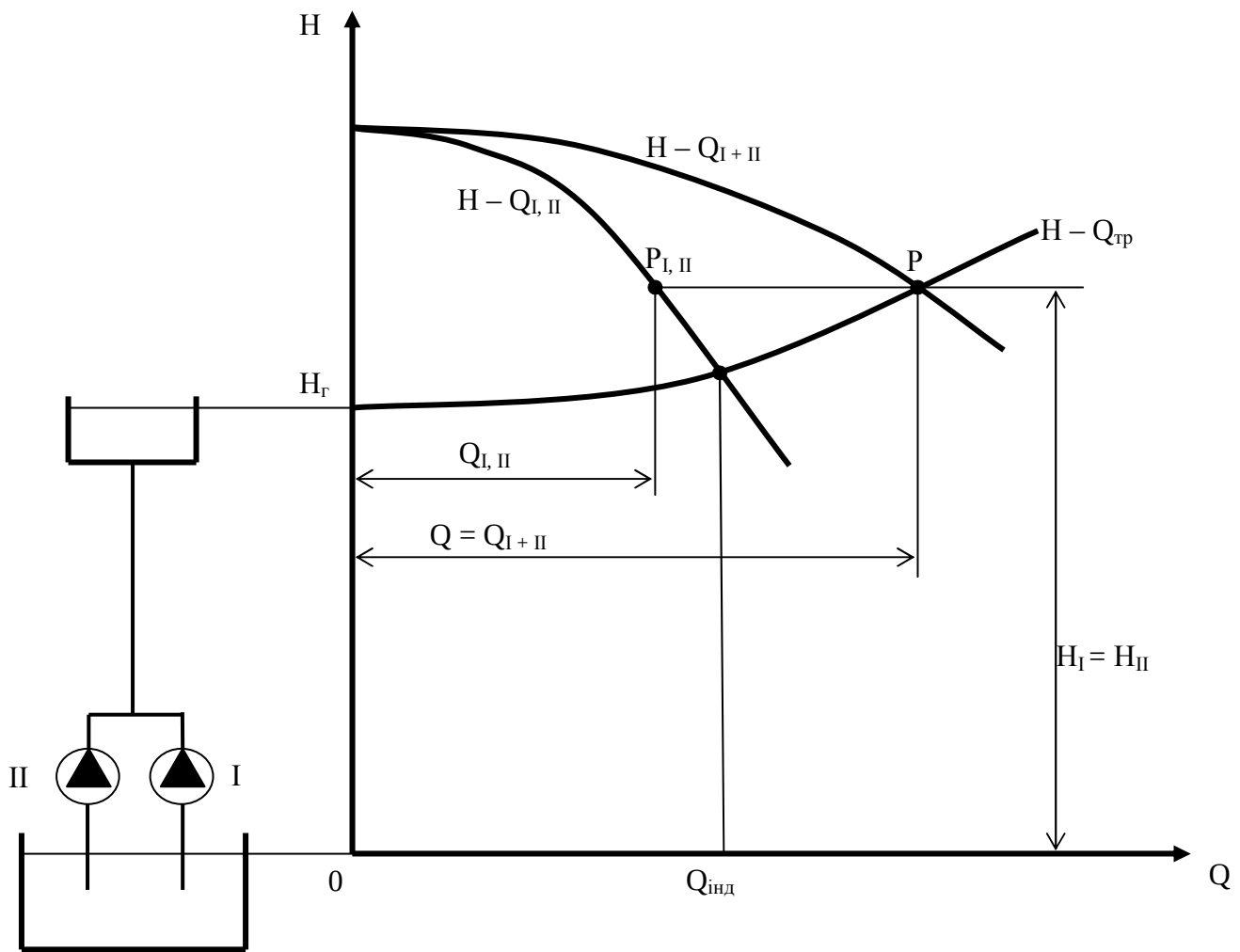


Рисунок 1.21 – Графік паралельної роботи двох однотипних насосів

Сумарну головну характеристику двох насосів, які працюють паралельно ($H - Q_{I+II}$) на трубопровід ($H - Q_{тр}$), отримують шляхом додавання абсцис (продуктивності) характеристик кожного з насосів за довільно прийнятих значень напору.

Точка перетину сумарної характеристики двох насосів $H - Q_{I+II}$ з характеристикою трубопроводу $H - Q_{тр}$ – робоча точка системи P , координати якої є розрахунковими параметрами станції. До того ж продуктивність станції $Q_{нс} = Q_I + Q_{II}$, а напір $H_I = H_{II} = H_{нс}$. Подача насосів збільшується, напір залишається постійним.

Подача кожного з насосів у разі їхньої спільної роботи на трубопровід визначається точкою $P_{I,II}$ перетину горизонтальної лінії, проведеної через точку P з характеристикою кожного з насосів $H - Q_{I,II}$.

На рисунку 1.22 подано характеристики двох насосів різних марок $H - Q_I$ та $H - Q_{II}$, які спільно працюють на трубопровід $H - Q_{тр}$.

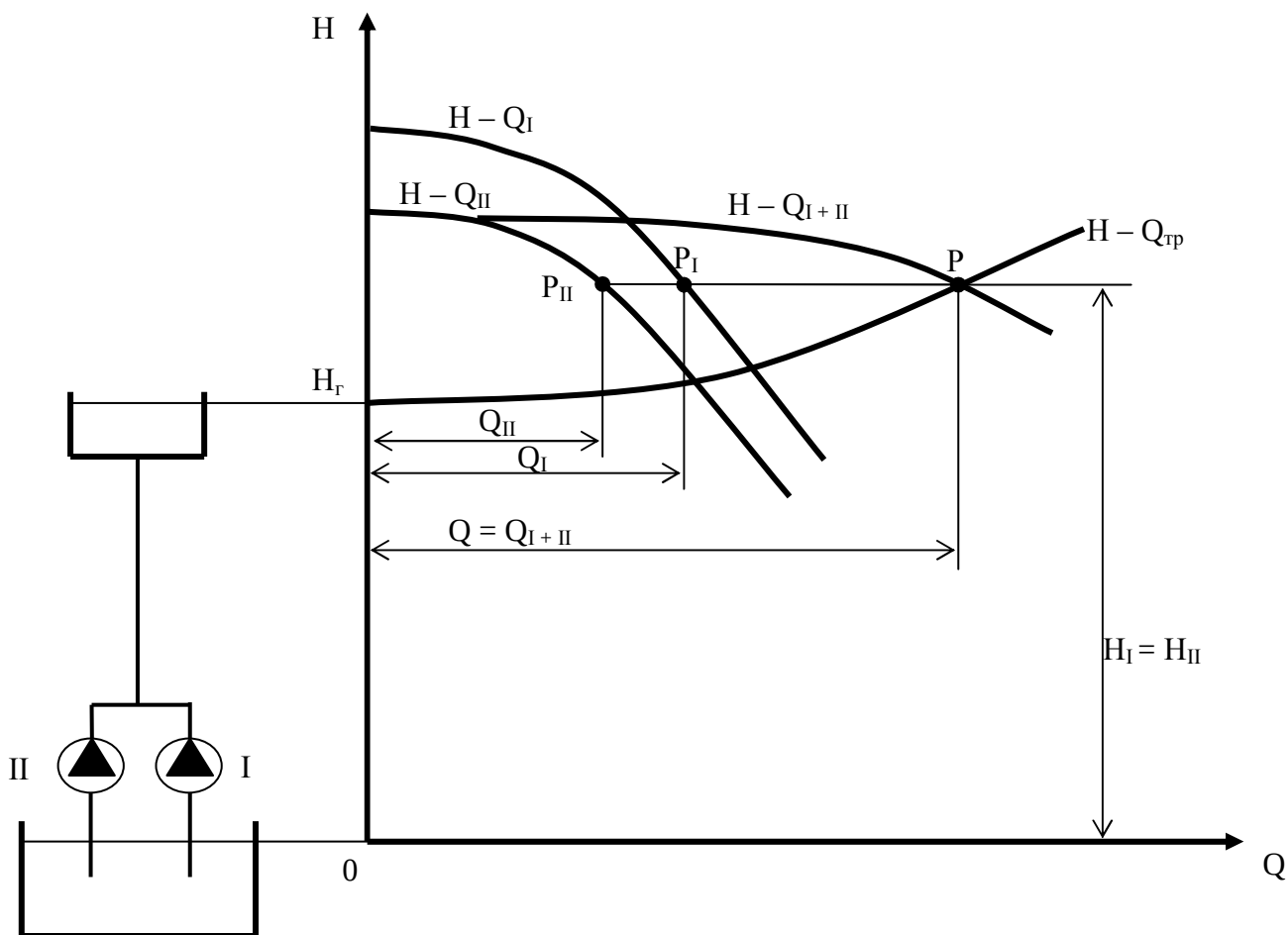


Рисунок 1.22 – Графік паралельної роботи двох різнотипних насосів

Отримують сумарну характеристику – $H - Q_{I+II}$. За довільно прийнятих значень напору відбувається підсумовування подач паралельно працюючих насосів. Точка перетину сумарної головної характеристики $H - Q_{I+II}$ з характеристикою трубопроводу $H - Q_{tr}$ – робоча точка P . Подача кожного з насосів за паралельної роботи – Q_I і Q_{II} (точки P_I і P_{II}).

У розглянутих варіантах паралельної роботи насосів вважалося, що насоси розташовані в машзалі станції близько один до одного і опори в комунікаціях станції незначні. На графіках $H - Q$ розглядалися паспортні характеристики насосів.

Відомо, що режимна (робоча) точка системи насос – трубопровід визначається графоаналітичним шляхом як точка перетину двох параболічних ліній: головної характеристики насоса і характеристики трубопроводу (водоводу, мережі).

Характеристика насоса приймається за паспортними даними (результат стендових випробувань на заводі-виготовлювачі). Характеристика трубопроводу для даної системи розраховується за формулою: $H = H_z + \Sigma h_w$, де Σh_w – повні втрати напору в напірних і всмоктувальних трубопроводах і комунікаціях станції, м.

За наявності досить довгих напірних трубопроводів і незначних втрат в усмоктувальних трубах і внутрішньостанційних комунікаціях визначення

В інших випадках, у разі складних систем усмоктувальних труб і комунікаційних колекторів, великої кількості арматури й місцевих опорів потрібне коригування паспортної характеристики насоса шляхом зменшення напору усередині станції (рис. 1.23).

$$H = H_2 + h_{WVC} + h_{WKM} + h_{WAB}, \quad (1.61)$$
$$h_{wKOM} - \text{втрати напору в комунікаціях усередині станції, м;}$$

Окремо будуть характеристики усмоктувальних труб $h - Q_{ус\ tr}$ і комунікацій станції $h - Q_{ком}$ за формулами:

$$h_{w\,vc} = S_{vc} Q^2; \quad h_{w\,KOMV} = S_{KOM} Q^2, \quad (1.62)$$

44

Довільно задаючись декількома Q , підраховують втрати напору та за знайденими точками будуються плавні лінії $H - Q_{yc\ mp}$ і $h - Q_{w\ kom}$.

Віднімаючи ординати h_{wyc} характеристики $h - Q_{yc\ mp}$ від ординат $H - Q$, за довільно взятими Q , за знайденими точками отримуємо плавну лінію $H - Q'$ – наведену характеристику насоса. Ця характеристика враховує зниження напору насоса внаслідок втрат в усмоктувальній трубі.

Віднімаючи ординати h_{wkom} характеристики $h - Q_{yc\ mp}$ від ординат $H - Q'$ одержують наведену характеристику $H - Q''$, яка враховує втрати в комунікаціях станції.

Будуємо характеристики напірного трубопроводу AB за формулою:

$$H = H_I + h_{wAB}.$$

Точка перетину двох характеристик: насоса $H - Q''$ і трубопроводу $H - Q_{AB}$ – фактична розрахункова точка системи P_p .

За заданої розрахункової витрати Q_p визначається фактичний розрахунковий напір

$$H_p = H_n - (h_{wyc} + h_{wkom}), \quad (1.63)$$

де H_n – напір насоса за паспортними даними (за Q_p).

Розглянемо паралельну роботу двох насосів різних марок, паспортні характеристики яких $H - Q_I$ та $H - Q_{II}$. Насоси встановлюються на значній відстані як один до одного, так і щодо початкової точки a напірного трубопроводу (рис. 1.24).

Необхідно проаналізувати режим роботи всієї системи. Задано характеристики $(Q - H)_I$ і $(Q - H)_{II}$ кожної із насосних станцій; характеристику $O - E'$ трубопроводу від насосної станції № 2 до насосної станції № 1 (до точки a); характеристику $C - E$ спільного водоводу від точки a .

До того як починати будувати сумарну характеристику двох насосних станцій, необхідно навести характеристики обох насосних станцій до спільної точки, де їхні подачі зливаються (у цьому випадку точка a). Для цього від напорів, створених насосною станцією, віднімають втрати напору у трубопроводі від насосної станції до спільної точки. У цьому випадку наводимо характеристику насосної станції № 2 до точки a . Для цього від ординат кривої $(Q - H)_{II}$ віднімаємо ординати кривої $O - E'$ і отримуємо криву $(Q - H)_{lia}$, яка і буде характеристикою насосної станції № 2, зведеною до точки a .

Сумарну характеристику $(Q - H)_{I+II}$ отримуємо складаючи абсциси кривих $(Q - H)_I$ і $(Q - H)_{lia}$ за рівних напорів. Перетин сумарної характеристики із характеристикою трубопроводу $C - E$ дає робочу точку системи (точка 3). Абсциса точки 3 подає найбільшу можливу подачу Q_{I+II} під час паралельної роботи насосних станцій на цей трубопровід. Проводячи із точки 3 лінію, паралельну осі абсцис, отримуємо точки 1 і 2, які дають подачі Q_I і Q_{II} кожної із насосних станцій ($Q_I + Q_{II} = Q_{I+II}$), а також напори цих станцій H_I і H_{II} .

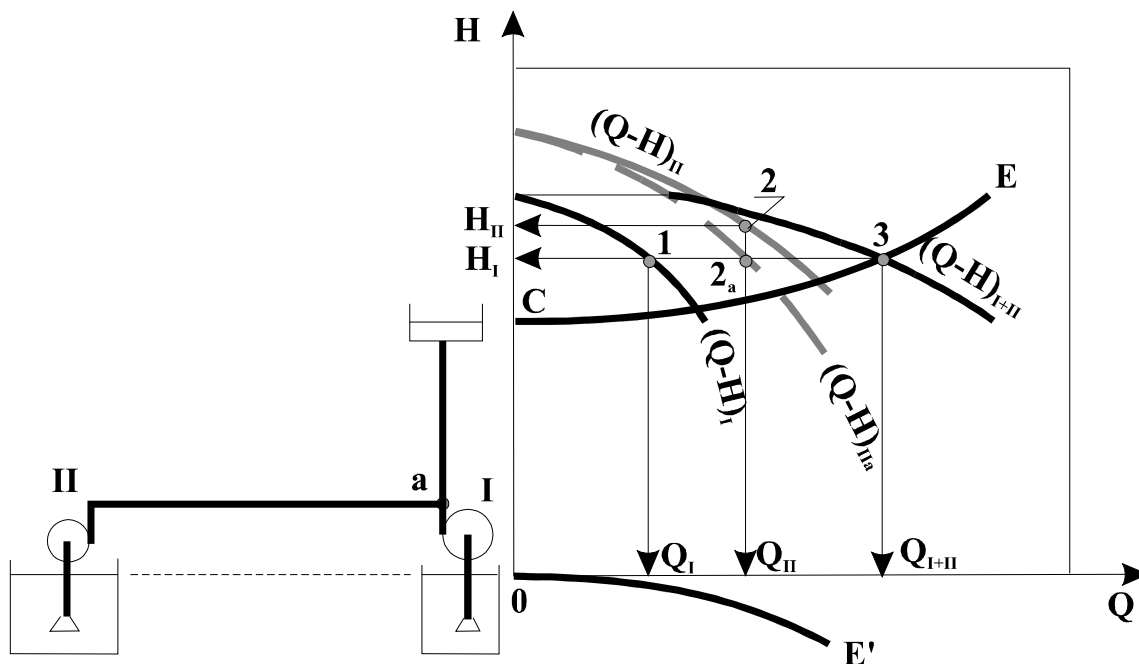


Рисунок 1.24 – Графік паралельної роботи насосів, які знаходяться на деякій відстані один від одного

Якщо рівні води в резервуарах, з яких насосні станції беруть воду, різні, то ординати наведеної характеристики $(Q - H)$ однієї із насосних станцій змінюють на величину різниці рівнів води у резервуарах. Для насосної станції з більш низьким рівнем води ординати наведеної характеристики зменшують.

Викладене вище вказує на певні закономірності паралельної роботи відцентрових насосів, а саме [4]:

- продуктивність кожного із групи насосів, що працюють паралельно, завжди нижча, ніж у разі індивідуальної роботи на той же трубопровід;
- паралельна робота насосів ефективна у разі малих опорів у напірному трубопроводі (за пологої характеристики трубопроводу);
- агрегати, що працюють паралельно, взаємно впливають один на одного: подача, напір, потужність, ККД залежать від режиму роботи групи насосів.

1.7 Рекомендації щодо підбору основного устаткування насосних станцій

Під час вибору типів і марок насосів і двигунів необхідно враховувати спільну роботу насосних агрегатів, водоводів і мережі.

Загальна методика вирішення завдань із розрахунку та підбору основного устаткування насосних станцій така [1–3, 16]:

1. За результатами аналізу системи «джерело – насосна станція – споживач» встановлюється схема подачі води насосною станцією споживачеві.

2. Встановлюється добовий режим роботи насосної станції, обумовлений режимом водоспоживання (водовідведення) – рівномірний (цілодобовий) або нерівномірний (східчастий).

3. За заданою продуктивністю системи водопостачання (водовідведення), $\text{м}^3/\text{добу}$, визначається розрахункова подача насосної станції $Q_{\text{НС}}$, $\text{м}^3/\text{год}$, л/с .

4. Складається схема комунікацій усмоктувальних і напірних трубопроводів, встановлюється їхня кількість, довжина, геометрична висота підйому води (різниця геодезичних відміток споживача та джерела).

5. Робиться гідравлічний розрахунок усмоктувальних і напірних трубопроводів. Визначаються діаметри труб і втрати напору.

6. Визначається повний напір насосної станції $H_{\text{НС}}$, м, з урахуванням геометричного напору $H_{\text{г}}$ і втрат напору в усмоктувальних, напірних трубопроводах і внутрішньостанційних комунікаціях $\Sigma h_{\text{в}}$.

7. Встановлюється кількість робочих насосів n залежно від режиму роботи станції та інших умов. Одночасно рекомендується розглянути кілька варіантів з різною кількістю насосів і визначити оптимальний.

8. Визначаються розрахункові параметри кожного насоса: подача Q_n і напір H_n (так, наприклад, у разі паралельного з'єднання однакових марок насосів: $Q_n = Q_{\text{НС}}/n$, $H_n = H_{\text{НС}}$).

9. Залежно від призначення станції, її місця в системі, необхідної продуктивності й напору, технологічного призначення тощо обирається необхідний тип насосів (К, Д, В, СД та інш.).

10. У каталозі насосів прийнятого типу за зведеним графіком полів $H - Q$ обирається марка насоса, робоче поле якого відповідає розрахунковим параметрам Q_n і H_n .

11. Вивчаються характеристики обраного насоса $H - Q$, $N - Q$, $\eta - Q$, $\Delta h_{\text{прп}} - Q$ і, за необхідності, визначаються заходи щодо забезпечення роботи насоса в умовах максимальних ККД.

12. Досліджується робота насосів у групі з метою оптимізації технологічного процесу.

13. Кількість резервних агрегатів приймається відповідно до категорії надійності станції та кількості робочих насосів.

14. Як привід до лопатевих насосів використовують електродвигуни трифазного змінного струму – асинхронні та синхронні. У разі потужності двигунів більше 300 кВт економічно вигідніше застосовувати синхронні електродвигуни.

Вибір електродвигуна для насоса визначається за потужністю, частотою обертання ротора, напругою в мережі; потужність двигуна повинна бути близька до номінального ($\eta_{\text{дв}}^{\text{max}}$).

Потужність двигуна визначається основними параметрами насоса – подачею Q , $\text{м}^3/\text{с}$, і напором H , м.

Потужність насоса під час підбору двигуна приймають за найбільшою подачею з можливих режимів роботи станції. Звичайно цю подачу приймають під час одиночної роботи насоса.

1.8 Розташування насосних агрегатів у машинному залі станції

Головний принцип розташування агрегатів – забезпечити безпеку обслуговування, монтаж і демонтаж устаткування. Цього досягають за допомогою таких заходів [3]:

- прохід між агрегатами має бути не менше 1–1,5 м;
- відстань від фундаменту агрегату до стіни будинку – 0,8–1,25 м;
- висота фундаменту над рівнем підлоги – не менше 150–200 мм.

Позначка верху фундаменту (рами), м:

$$Z_{вф} = Z_{пн} - P, \quad (1.64)$$

де $Z_{пн}$ – позначка осі насоса, м;

P – висота насоса від осі до лабетів, м; приймають за паспортними даними насоса.

Ширина і довжина фундаменту дорівнює ширині і довжині фундаментної плити насоса (дані в паспорті) плюс 50–150 мм.

Розташування насосних агрегатів і трубопроводів у будівлі насосної станції має забезпечувати надійність дії основного й допоміжного устаткування, а також зручність, простоту та безпеку його обслуговування. Устаткування звичайно компонують, виходячи з мінімальної довжини внутрішньостанційних комунікацій і з урахуванням можливості розширення станції в майбутньому.

Схема розташування агрегатів у будівлі насосної станції цілком і повністю визначається типом, розмірами та числом основних насосів, а також формою машинного залу в плані.

У машинному залі прямокутної форми найчастіше використовуються схеми розташування відцентрових насосів з горизонтальним валом, які наведені на рисунку 1.25.

Перевагами однорядного розташування агрегатів паралельно поздовжній осі станції (рис. 1.25, а) є компактність розміщення устаткування і невелика ширина машинного залу.

Особливо вигідна ця схема під час застосування двосторонніх насосів, у яких усмоктувальна й напірна лінії розташовуються в площині, перпендикулярній осі насоса. Недоліком є більша довжина будівлі насосної станції, тому застосування цієї схеми доцільне у разі невеликої кількості агрегатів.

До переваг другої схеми однорядного розташування агрегатів (рис. 1.25, б) варто віднести компактність розміщення устаткування, як і у першій схемі, і значно меншу довжину машинного залу. Особливі переваги має ця схема під час застосування насосів консольного типу, у яких усмоктувальна лінія підходить до торця насоса. Однак ширина машинного залу насосної станції за такої схеми розташування трохи збільшується.

У разі однорядного розташування насосних агрегатів під кутом до поздовжньої осі будинку станції (рис. 1.25, в) поєднуються переваги перших

двох схем. Шляхом невеликого, у порівнянні із другою схемою, збільшення довжини будівлі можна істотно зменшити її ширину.

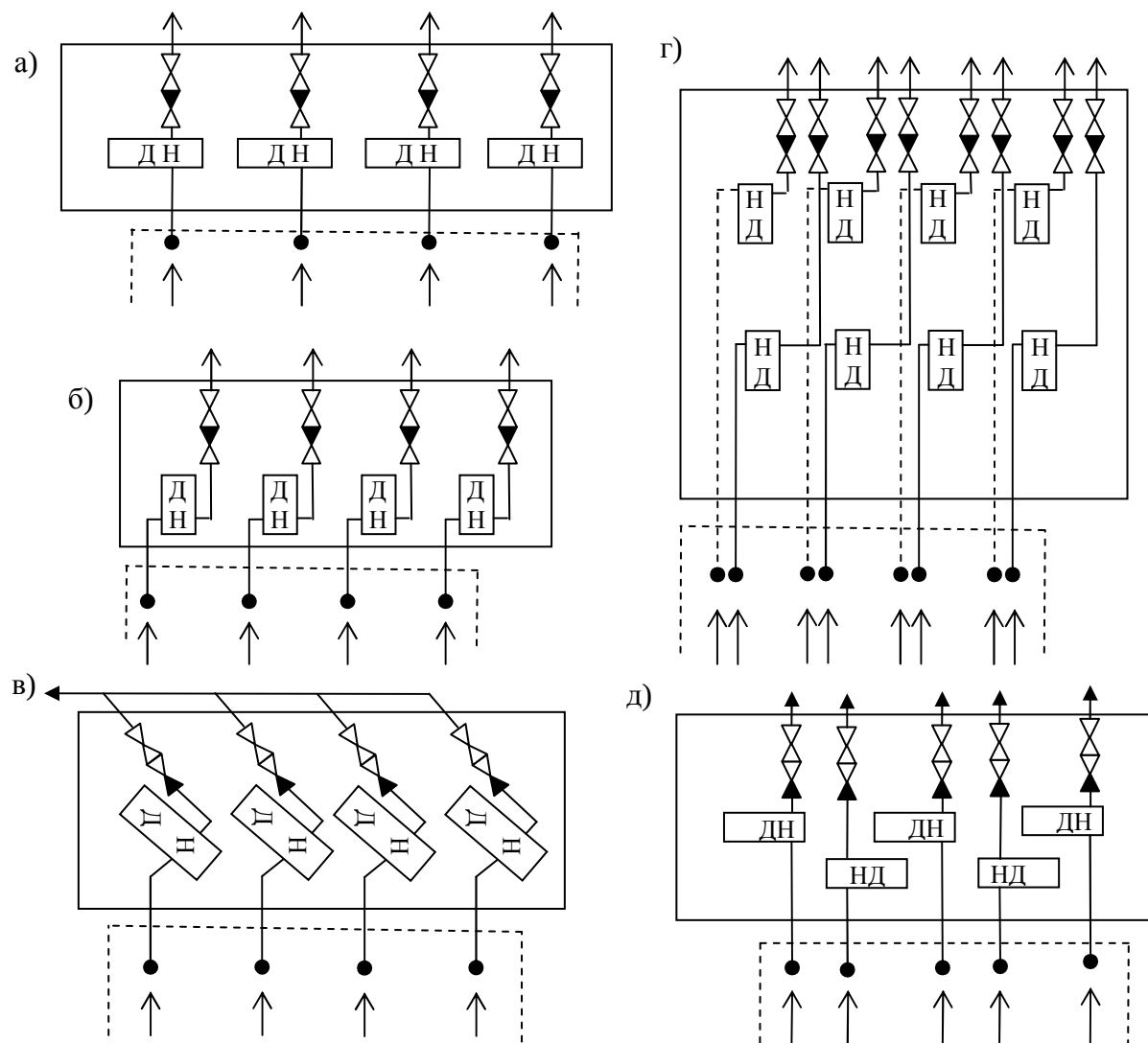


Рисунок 1.25 – Схеми розташування агрегатів з горизонтальними відцентровими насосами:

- а) однорядне розташування агрегатів паралельно до поздовжньої осі станції;
- б) однорядне розташування агрегатів перпендикулярно до поздовжньої осі станції;
- в) однорядне розташування агрегатів під кутом до поздовжньої осі станції;
- г) дворядне розташування агрегатів;
- д) дворядне розташування агрегатів у шаховому порядку.

Схема дворядного розташування агрегатів (рис. 1.25, г) знаходить застосування за великої кількості агрегатів різного призначення і, отже, різних розмірів. Під час такого розташування агрегатів значно збільшується прогін будівлі та ускладнюється комунікація трубопроводів.

Шахове дворядне розташування агрегатів (рис. 1.25, д) застосовується за великої кількості великих агрегатів. Розміщення внутрішньостанційних трубопроводів за цією схемою більш компактне, ніж за попередньою. Крім того, площа машинного залу значно скорочується, якщо електродвигуни в

одному ряді встановити з одного боку від насосів, а в іншому – з іншого боку, що можливо лише у разі різного напрямку обертання насосів.

Для *вертикальних відцентрових насосів* характерне однорядне розташування агрегатів уздовж поздовжньої осі будинку станції. За наявності на напірних трубопроводах великої кількості арматури можна трохи зменшити ширину будинку внаслідок косого приєднання їх до збірного колектора або до зовнішніх напірних водоводів.

На рисунку 1.26 зображена насосна станція, обладнана вертикальними насосами; приєднання двох і більше насосів до однієї усмоктувальної лінії значно спрощує схему внутрішньостанційних комунікацій і конструкцію водоприймача. Подібне рішення може виявитися економічно доцільним за великої кількості агрегатів.

З огляду на специфіку конструкції і великі розміри проточної частини *осьових насосів* їх встановлюють, незалежно від розташування вала (горизонтального, похилого або вертикального), зазвичай в один ряд уздовж фронту водозабору.

Круглі в плані машинні зали типові для заглиблених насосних станцій. На таких станціях, сполучених з водоприймачем, найбільш доцільним є кільцеве розташування агрегатів. Особливості компонування внутрішньостанційних комунікацій визначаються схемою підведення води до насосів (рис. 1.27).



Рисунок 1.26 – Насосна станція підвищення тиску

За будь-якої схеми розташування насосних агрегатів у будівлі насосної станції мають бути забезпечені повна безпека та зручність їхнього обслуговування, а також можливість монтажу і розбирання насосів та електродвигунів.

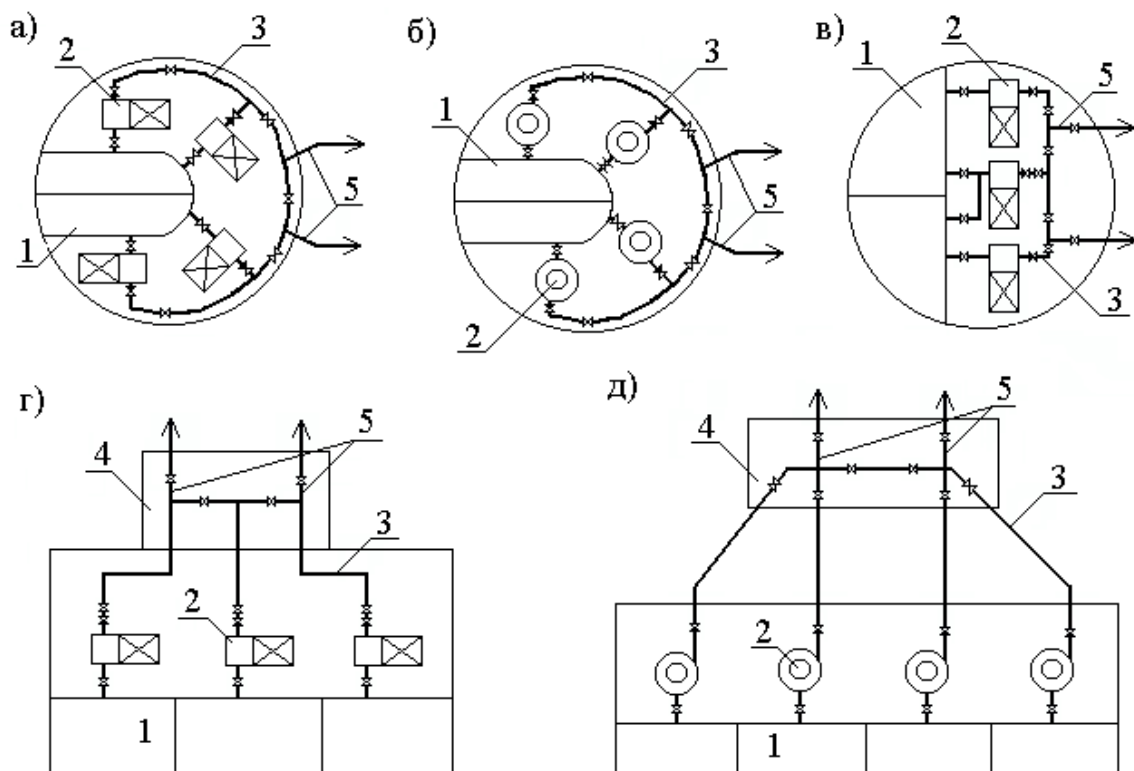


Рисунок 1.27 – Схеми розміщення насосного обладнання, трубопроводів і арматури в сполучених насосних станціях:

- а), в) круглі у плані з горизонтальними насосами;
- б) кругла у плані з вертикальними насосами;
- г) прямокутна з горизонтальними насосами;
- д) прямокутна з вертикальними насосами;
- 1 – приймальна камера;
- 2 – насос;
- 3 – напірний трубопровід;
- 4 – камера переключень;
- 5 – напірний водовод.

Прохід між агрегатами приймається не менше 1 м у разі встановлення електродвигунів напругою до 1 000 Вт и не менше 1,2 м у разі встановлення електродвигунів більш високої напруги. У всіх випадках відстань між нерухомими виступаючими частинами устаткування повинна бути не менше 0,7 м. Відстань від довгих сторін фундаментних плит насосних агрегатів до стін повинна бути не менше 1 м. Насоси з нероз'ємним корпусом у горизонтальній площині, в яких вал з робочим колесом під час демонтажу висувається назовні за напрямком осі насоса, варто встановлювати на відстані від стін або інших агрегатів не меншій, ніж довжина вала насоса плюс 0,25 м (але не менше 0,8 м). Така ж відстань повинна бути залишена й для зручності демонтажу електродвигунів з горизонтальним валом. Прохід між агрегатами і електророзподільним щитом повинен бути не менше 2 м.

У будівлях насосних станцій, обладнаних невеликими насосами з електродвигунами напругою до 1 000 Вт і діаметром напірного патрубка до 100 мм включно, допускається встановлення агрегатів безпосередньо в стіні, а також встановлення двох агрегатів на одному фундаменті без проходу між

ними, але із проходом навколо них шириною не менше 0,7 м.

Деяке зменшення розмірів (до 25–30 %), що рекомендуються, допускається під час розміщення устаткування в заглиблених насосних станціях з машинними будівлями шахтного типу.

Допоміжні насоси (дренажні, осушувальні, вакуум-насоси) звичайно розташовують у вільних місцях машинного залу таким чином, щоб це не спричиняло збільшення розмірів споруди. Для таких насосів прохід може бути залишений тільки з однієї сторони. Вакуум-насоси через їхні малі розміри й періодичність роботи можуть бути встановлені навіть на кронштейнах на стінах машинного залу.

Щити і пульти керування насосними агрегатами і засувками розташовують зазвичай на балконах або на майданчиках уздовж стін.

Розміри будівлі насосної станції в плані визначаються після вибору схеми розташування насосних агрегатів і компонування внутрішньостанційних трубопроводів з урахуванням відстаней, що рекомендуються, між стінами будівель і елементами устаткування.

Так, ширина машинного залу є сумою довжин ділянок трубопроводів, фасонних частин і арматури на усмоктувальній та напірній лініях насоса, а також поперечного розміру самого насоса.

Довжина прямокутного машинного залу визначається проходами між торцевими стінами і агрегатами, поздовжнім розміром самих агрегатів і відстанями між ними.

Під час визначення розмірів машинного залу насосної станції, обладнаної вертикальними насосами, не варто забувати, що над насосним приміщенням перебуває зал електродвигунів, розміри якого визначаються габаритами двигунів і відстанню між ними, розташуванням люків у підлозі зала, розміщенням електроустаткування та габаритами крана. Із огляду на це лінійні розміри підземної частини необхідно погоджувати з лінійними розмірами верхнього приміщення.

У будівлях насосних станцій, обладнаних великими насосними агрегатами, необхідно передбачити місце для так званого монтажного майданчика, на якому ремонтують насоси і електродвигуни. Монтажний майданчик звичайно влаштовують у торці будинку на рівні поверхні землі. Розміри майданчика у плані визначаються габаритними розмірами насосів, електромоторів і транспортних засобів, а також відстанню максимального наближення гака вантажопідйомного механізму до бічних і торцевих стін будинку. Навколо устаткування і транспортних засобів, що перебувають на монтажному майданчику, повинен бути залишений прохід шириною не менше 0,7 м.

Висота машинної будівлі насосної станції є сумою висот підземної частини і верхньої будівлі.

Висота підземної частини будівлі насосної станції заглибленого типу залежить, головним чином, від розташування робочого колеса насоса стосовно мінімального рівня води в джерелі або у водоприймальній камері, обумовленого, у свою чергу, припустимою геометричною висотою

усмоктування або необхідним підпором [2].

Мінімальне допустиме заглиблення підземної частини, м, для можливості розміщення підйомно-транспортного обладнання визначається за рисунком 1.28:

$$H_{\text{загл}} > h_{\text{об}} + 0,5 + h_{\text{в}} + h_{\text{с}} + h_{\text{к}} + h_{\text{б}} + h_{\text{п}}, \quad (1.65)$$

де $h_{\text{об}}$ – висота встановленого обладнання, через яке потрібно пронести вантаж;

0,5 – відстань між вантажем та обладнанням;

$h_{\text{в}}$ – висота вантажу, що переноситься;

$h_{\text{с}}$ – висота строповки, приймається 0,5–1,0 м;

$h_{\text{к}}$ – висота підйомно-транспортного обладнання за максимального підняття гака;

$h_{\text{б}}$ – висота підкранового шляху балки;

$h_{\text{п}}$ – висота перекриття.

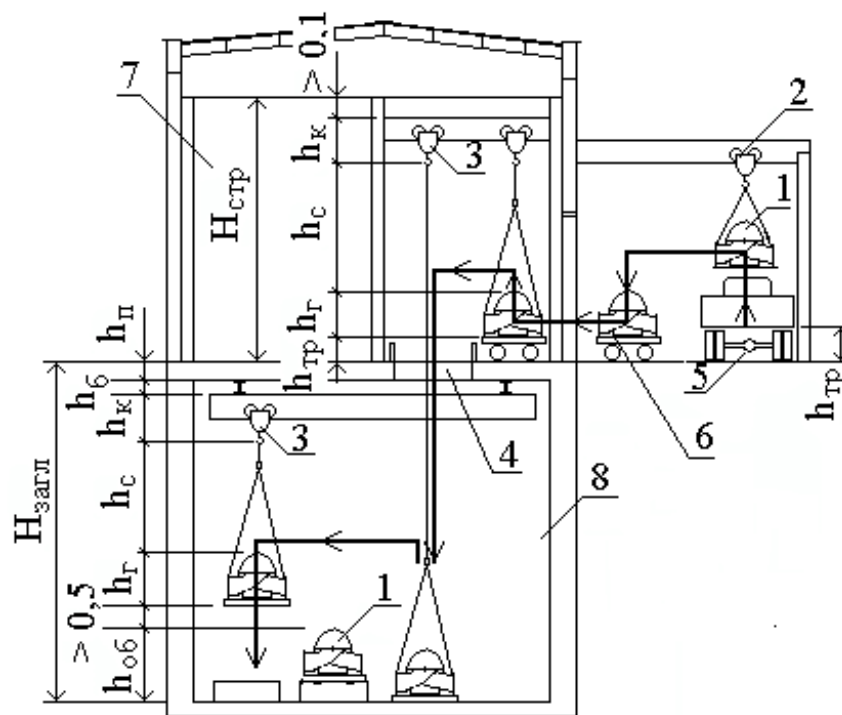


Рисунок 1.28 – Схема визначення глибини заглиблення та висоти наземної частини в заглиблених насосних станціях:

- 1 – вантаж, що транспортується (насос);
- 2 – виносний тельфер;
- 3 – кран-балка;
- 4 – монтажний отвір;
- 5 – автомобіль;
- 6 – інвентарний візочок;
- 7 – наземний павільйон;
- 8 – підземна частина насосної станції

Якщо заглиблення не задовольняє умову (1.65), то приймають напівзаглиблений тип будівлі. Для сполучення з наземним павільйоном розміщують сходи з ухилом не більше 45° та шириною не менше 0,9 м.

Висоту наземного павільйону $H_{стр}$ над заглибленим машинним залом до перекриття, м, за рисунок 1.28 визначають за формулою:

$$H_{стр} > h_{тр} + h_в + h_c + h_k + 0,1 \quad (1.66)$$

де $h_{тр}$ – висота автомобіля або транспортного візочка під час завантаження.

Варто зазначити, що потужні приводні електродвигуни вертикальних насосів серій В, О і ОП для запобігання їх затоплення під час аварій завжди встановлюються вище максимального рівня води в джерелі або у водоприймальній камері. Ця обставина найчастіше спричиняє необхідність спорудження підводної частини машинної будівлі великої за висотою.

Висота верхньої будови, не обладнаної піднімальними механізмами, у будинках насосних станцій незаглибленого типу повинна бути не менше 3 м. У будинках станцій, обладнаних стаціонарними вантажопідйомними механізмами, висоту верхньої будівлі визначають за допомогою розрахунку.

Приміщення, обладнане підвісною кран-балкою, повинне мати таку висоту:

$$H_{верхн.буд} \geq h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + 0,5, \quad (1.67)$$

де h_1 – висота монорейки кран-балки з урахуванням конструкції кріплення її до перекриття;

h_2 – мінімальна висота від гака до низу монорейки;

h_3 – висота стропування вантажу (прийнята рівною 0,5–1 м);

h_4 – висота вантажу;

0,5 – мінімальна висота від вантажу до підлоги або до встановленого обладнання.

Якщо під час транспортування вантажу на монтажний майданчик його необхідно проносити над встановленим обладнанням, то у формулу (1.67) вводиться додатково висота цього обладнання $h_{облад}$.

Верхня будівля насосної станції, обладнана мостовим краном, повинна мати таку висоту:

$$H_{верхн.буд} \geq h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + 0,5 + h_{облад} + 0,1, \quad (1.68)$$

де h_1 – висота крана над головою підкранової рейки;

h_2 – мінімальна висота від гака крана до головки рейки;

0,1 – мінімальна відстань за висотою від низу перекриття до верху балки або вантажного візка крана. Інші позначення ті ж, що й раніше.

Якщо вантаж (насос, електродвигун тощо) доставляється безпосередньо на монтажний майданчик насосної станції, то для можливості його навантаження і вивантаження висоту верхньої будівлі, підраховану за формулами (1.67) та (1.68), необхідно збільшити на висоту $h_{трансп}$ від підлоги до вантажної платформи.

Остаточні розміри машинного залу насосної станції і у плані, і за висотою встановлюються за допомогою техніко-економічних розрахунків і обов'язково погоджуються з уніфікованими розмірами конструкцій виробничих приміщень, передбаченими державними будівельними нормами.

Контрольні запитання до розділу 1

1. Класифікація і типи насосних станцій.
2. Яким основним устаткуванням мають бути забезпечені насосні станції?
3. Які параметри насосних станцій називають основними?
4. Які типи насосів застосовують на насосних станціях?
5. Подайте визначення понять висоти всмоктування та кавітації.
6. Поясніть схему визначення вакуумметричної висоти всмоктування?
7. Які показники передбачаються у понятті характеристики відцентрового насоса?
8. Як здійснюється оптимізація роботи насоса?
9. Що таке «оптимальні параметри насоса»?
10. Що таке «коефіцієнт швидкохідності насоса» та яким є його значення під час вибору основного устаткування насосних станцій?
11. Як впливає «підрізування» робочого колеса і зміна кількості обертів на величину напору насоса?
12. Як і для чого здійснюється паралельна робота насосів?
13. Як і для чого застосовують послідовну роботу насосів?
14. Які ви знаєте особливості побудови графіків спільної роботи насосів і трубопроводів?
15. Наведіть визначення поняття «наведені характеристики насоса».
16. Якими є головні правила підбору необхідної марки насоса для насосних станцій?
17. Наведіть головні вимоги до визначення глибини підземної частини та висоти наземної частини будівлі заглибленої насосної станції.
18. Наведіть основні схеми компонування насосних станцій з горизонтальними відцентровими насосами.

Тестові завдання

1. На які типи за призначенням поділяються насосні станції?
А. НС систем водопостачання. Б. НС систем водовідведення.
В. Заглиблені НС. Г. Дренажні НС. Д. Господарчо-питні НС.
2. До якої категорії надійності належить насосна станція, якщо перерва у подачі води допустима на час, за який обслуговуючий персонал встигне ввімкнути резервні агрегати?
А. I категорія. Б. II категорія. В. III категорія.
3. Які з наведених параметрів належать до основних параметрів роботи насосної станції?
А. Продуктивність. Б. Напір.
В. Потужність. Г. Атмосферний тиск.

4. Якими процесами супроводжується процес кавітації?
 А. Зниження тиску. Б. Пароутворення.
 В. Виділення пухирців газів, розчинених у воді.
 Г. Збільшення кількості спожитої енергії.
5. Від чого залежить вакуумметрична висота всмоктування?
 А. Температури рідини. Б. Величини атмосферного тиску.
 В. Довжини напірного трубопроводу. Г. Місця розташування споживача.
6. Характеристика насоса, в якій максимальне значення напору відповідає нульовій подачі, називається:
 А. Оптимальною. Б. Стабільною.
 В. Лабільною. Г. Теоретичною.
7. Яка зона характеристики насоса називається оптимальною або робочою?
 А. Та, що відповідає $H_{\max}$. Б. Та, що відповідає $\eta_{\max}$.
 В. Та, що відповідає $Q_{\max}$. Г. Та, що відповідає $N_{\max}$.
8. Які методи використовують для оптимізації роботи насосної станції?
 А. Зміна кількості обертів. Б. Застосування частотного електроприводу.
 В. Зменшення кавітаційного запасу. Г. Зрізання діаметра робочого колеса.
 Д. Застосування вакуум-насосів. Е. Дроселювання.
9. З якою метою застосовують паралельне поєднання насосних агрегатів?
 А. Для збільшення напору. Б. Для зменшення подачі.
 В. Для збільшення подачі. Г. Для збільшення ККД.
10. Назвіть головну вимогу до послідовної роботи насосів:
 А. Рівність напорів. Б. Рівність подач.

Відповіді до тестових завдань

№ питання	Варіанти правильних відповідей
1	А; Б; Г.
2	Б
3	А; Б.
4	А; Б; В.
5	А; Б.
6	Б.
7	Б.
8	А; Б; Г; Е.
9	В.
10	Б.

РОЗДІЛ 2

НАСОСНІ СТАНЦІЇ ВОДОПОСТАЧАННЯ

2.1 Класифікація водопровідних насосних станцій

Насосна станція є ланкою системи водопостачання і становить собою досить складний енергетичний вузол, що забезпечує подачу води споживачам у необхідному обсязі, з необхідним напором. На насосній станції розміщуються головні насосні агрегати, для забезпечення нормальної роботи яких є цілий ряд допоміжних систем: система усмоктувальних і напірних трубопроводів з необхідною арматурою; системи запуску насосів, змащення, електропостачання, автоматики, керування, контролю тощо. На сучасних насосних станціях використовуються системи автоматики, телемеханіки й електроніки.

Всі водопровідні насосні станції поділяються на групи за низкою ознак [1–3]: за розташуванням у загальній схемі системи водопостачання і призначенням вони поділяються на:

а) станції першого підйому: подають воду із джерела на очисні споруди, а якщо вода не потребує очистки, – у регулюючі ємності або безпосередньо в мережу споживача;

б) станції другого підйому: перекачують воду з резервуарів чистої води в мережу споживача. В окремих випадках насоси першого й другого підйомів можуть розташовуватися в одному будинку;

в) підвищувальні станції: призначені для підвищення напору в мережі (окремі багатоповерхові будинки, райони із забудовою підвищеної поверховості, зонні водопроводи, водопроводи промислових підприємств);

г) циркуляційні станції: входять до складу системи технічного водопостачання (пром підприємства, теплоелектростанції).

Насосні станції систем комунального водопостачання за ступенем забезпечення подачі води поділяють на три категорії [17]:

1) допускається зниження подачі на господарсько-питні потреби не більше ніж на 30 %, а на виробничі – до межі, встановленої аварійним графіком. Тривалість зниження подачі – не більше 3 діб. Перерва в подачі води або зниження подачі за встановлену межу – не більше 10 хв;

2) зниження подачі води таке ж, що і для станцій I категорії, але тривалість не повинна перевищувати 10 діб. Перерва в подачі або зниження її за встановлену межу допускається не більше ніж на 6 год;

3) зниження подачі води таке ж, що і для станцій I категорії, але тривалість не повинна перевищувати 15 діб, а перерва в роботі – 24 год.

За типом будівлі насосні станції поділяються на *наземні, заглиблені та глибокі (шахтні)*.

За характером керування існують такі станції:

- з ручним керуванням;
- напіваавтоматичні, коли автоматизована система вмикається оператором з пульта керування;

- автоматичні, на яких система автоматики станції вмикається і вимикається від первинних сигналів, що отримують від датчиків (тиску, рівня тощо);
- з керуванням на відстані, коли вмикання / вимикання агрегатів, контроль за їхньою роботою проводяться з центрального диспетчерського пункту, розташованого на значній відстані від насосної станції.

2.2 Насосні станції першого підйому із забором води з поверхневих джерел

Схеми насосних станцій першого підйому. Принципове компонування і конструктивне виконання насосних станцій першого підйому різноманітні та залежать від виду джерела водопостачання, топографічних, геологічних умов обраного місця водозабору. Конструктивне виконання станції визначається також типом насосного устаткування (відцентрові, осьові, горизонтальні, вертикальні насоси тощо) [2].

На рисунку 2.1, *а* зображена схема насосної станції першого підйому, яка розміщується окремо від руслового водозабору. Станція прямокутна в плані, напівзаглиблена, обладнана чотирма горизонтальними відцентровими насосами.

На рисунку 2.1, *б* наведена схема берегової станції, яка сполучена з береговим водозабором. У плані станція має круглу форму, вона глибока й обладнана чотирма вертикальними насосами.

Станція 1-го підйому, яка зображена на рисунку 2.1, *в*, знаходиться окремо від берегового водозабору. Вона напівзаглиблена, має прямокутну форму в плані й обладнана чотирма горизонтальними насосами.

На рисунку 2.1, *г* подана схема насосної станції руслового типу, яка сполучена з водозабором.

Насосні станції за схемами на рисунку 2.1, *б – в* споруджують у тому випадку, якщо за сприятливих геологічних і топографічних умов поблизу від берега забезпечується достатня глибина, необхідна для водозабору. За несприятливих умов станція споруджується на деякій відстані від берега, і воду до неї підводять каналом.

Остаточне рішення щодо вибору схеми насосної станції першого підйому приймають на підставі техніко-економічних розрахунків з порівнянням різних варіантів.

Режим роботи і подача насосних станцій першого підйому. Вода в поверхневих джерелах завжди вимагає відповідної очистки. Із огляду на це режим роботи насосної станції системи господарсько-питного водопостачання пов'язаний з режимом роботи очисних споруд. З метою скорочення розмірів споруд і стабілізації процесу очистки води режим роботи насосної станції призначають рівномірним протягом доби. Подача її визначається середньою годинною витратою за добу максимального споживання з урахуванням власних потреб (промивання водоприймальних споруд, технічне водопостачання насосної станції тощо). За відносно невеликого обсягу водоспоживання і наявності відповідних очисних установок, що допускають перерви в роботі, режим роботи станції першого підйому може відрізнятися від рівномірного.

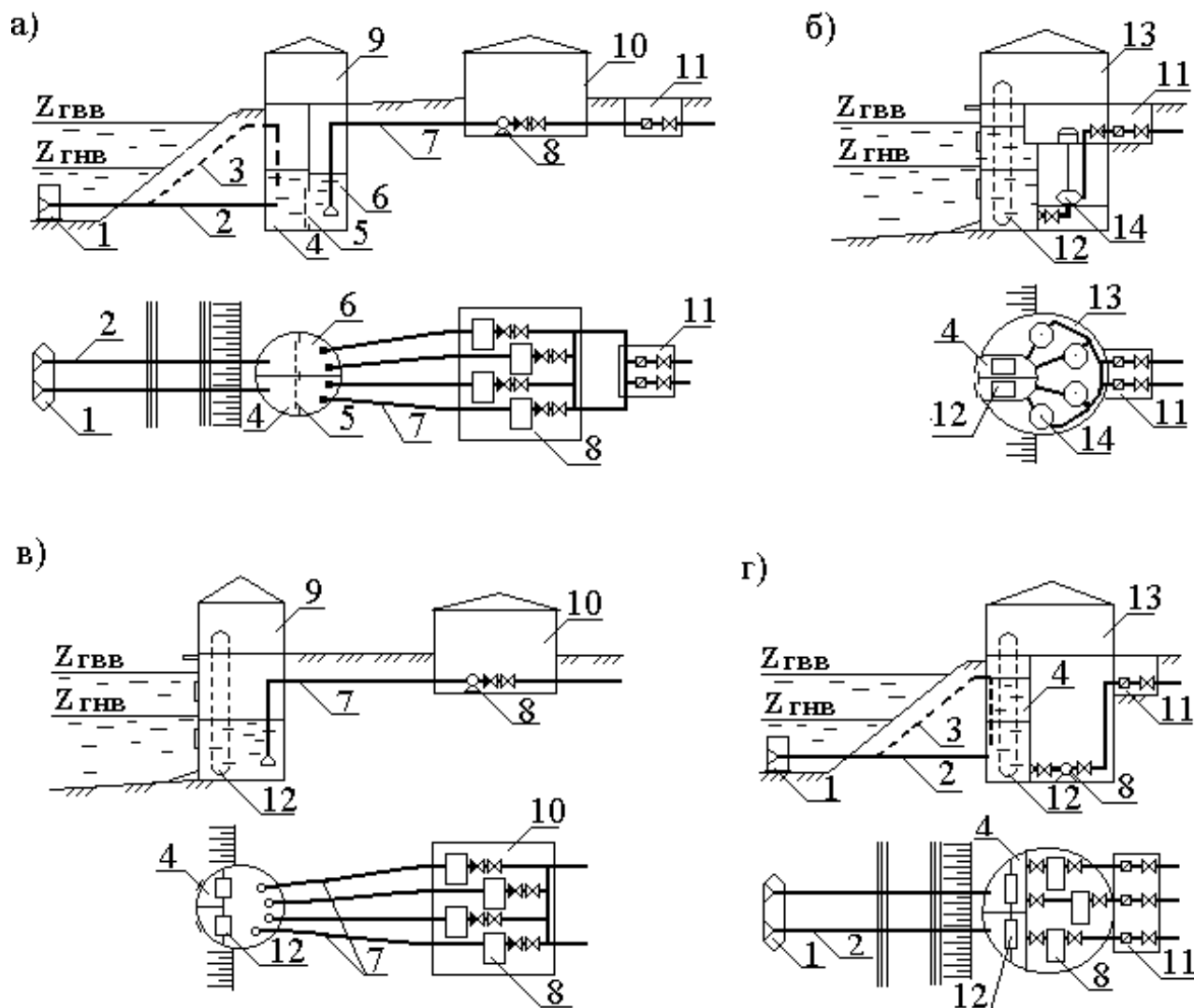


Рисунок 2.1 – Схеми насосних станцій першого підйому у разі поверхневих водозаборів

- | | |
|--------------------------------------|---|
| а) окрема від руслового водозабору; | б) сполучена з береговим водозабором; |
| в) окрема від берегового водозабору; | г) сполучена з русловим водозабором; |
| 1 – оголовок; | 8 – горизонтальний насос; |
| 2 – самопливний водовід; | 9 – береговий прийомно-сітчастий колодязь; |
| 3 – сифонний водовід; | 10 – насосна станція; |
| 4 – водоприймальна камера; | 11 – камера переключень; |
| 5 – пласка сітка; | 12 – обертова сітка; |
| 6 – усмоктуюче відділення; | 13 – павільйон сполученої насосної станції; |
| 7 – усмоктуючий водовід; | 14 – вертикальний насос |

Від режиму роботи насосної станції першого підйому залежить обсяг резервуарів чистої води [1, 4, 21].

Подачу насосної станції першого підйому визначають за формулою:

$$Q = \frac{\alpha Q_{\max \text{ доб}}}{T}, \quad (2.1)$$

де α – коефіцієнт, що враховує власні потреби: $\alpha = 1,04 \dots 1,1$;

$Q_{\max \text{ доб}}$ – максимальний добовий обсяг водоспоживання, м^3 ;

T – тривалість роботи насосної станції за добу, год. (у разі рівномірного режиму $T = 24$ год.).

Якщо в системі водопостачання немає споруд для обробки води (наприклад, у разі використання джерел підземних вод), а насоси першого підйому подають воду в збірний резервуар, то загальну подачу насосів першого підйому $Q_{год}$, м³/год., визначають за формулою

$$Q_{год} = a' Q_{макс.доб} / 24, \quad (2.2)$$

де a' – коефіцієнт, який враховує витрату води на власні потреби водопроводу і дорівнює 1,01–1,03.

Для остаточного вирішення питання про вибір режиму роботи, а отже, і подачі насосної станції першого підйому необхідне техніко-економічне обґрунтування прийнятого варіанта з урахуванням технологічного процесу очистки води.

Режим роботи і подача насосних станцій першого підйому в системах технічного водопостачання, що перекачують воду без її очищення, залежать від типу системи. У прямоточних системах обсяг води, що перекачується, повинен відповідати її споживанню на технологічні потреби виробничих цехів. За наявності рівномірного графіка водоспоживання подача насосної станції розраховується за середнім водоспоживанням за годину. Якщо ж водоспоживання протягом доби нерівномірне, подача насосної станції повинна призначатися за максимальним годинним водоспоживанням (за відсутності регулюючої ємності) або за середнім водоспоживанням за годину (за наявності регулюючої ємності).

У системах оборотного водопостачання (системи охолодження теплових електростанцій тощо) насосні станції першого підйому подають воду в басейни споруд, що охолоджують (градирні, бризкальні басейни) в обсязі, необхідному для відновлення безповоротних втрат. Подача насосної станції призначається рівною середньогодинній витраті на відновлення втрат.

Напір насосних станцій першого підйому. Розрахунковий напір насосів станції першого підйому в кожному окремому випадку визначається за схемою вертикального планування з урахуванням втрат напору в усмоктувальних і напірній лініях.

Наприклад, напір станції, що перекачує воду на очисні споруди (рис. 2.2):

$$H = H_{\Gamma} + \Sigma h_{\text{вс}} + \Sigma h_n + H_p, \quad (2.3)$$

де H_{Γ} – геометрична висота підйому, дорівнює різниці позначок максимального рівня води в змішувачі та мінімальному розрахунковому рівню у водозабірній споруді, м;

$\Sigma h_{\text{вс}}$ – втрати напору в усмоктувальній лінії, м;

Σh_n – втрати напору в напірній лінії, зокрема втрати у водомірі ($h_{\text{вм}}$), м;

$H_{\text{св}}$ – вільний напір на виливання; $H_p = 1 \dots 1,5$ м.

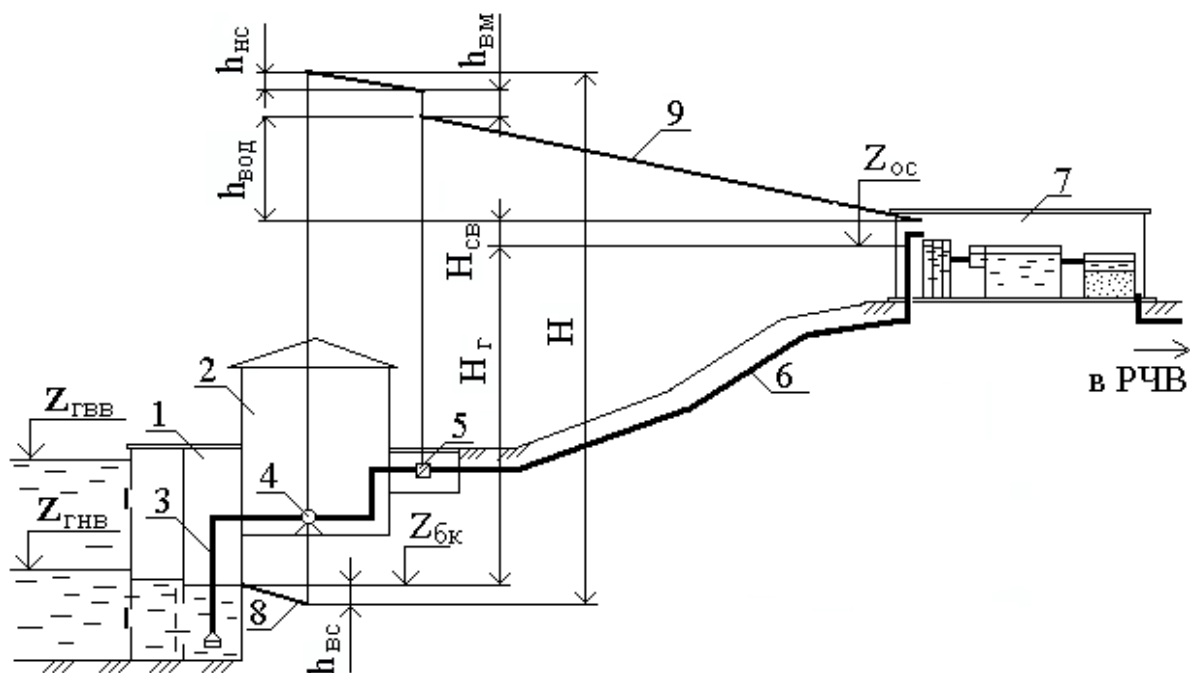


Рисунок 2.2 – Схема для визначення напору насосів першого підйому:

1 – береговий колодязь;

2 – насосна станція;

3 – усмоктуючий трубопровід;

4 – насос;

5 – водомір;

6 – напорний водовід;

7 – очисні споруди;

8 – графік втрат напору у всмоктуючому трубопроводі;

9 – графік п'єзометричних позначок: $h_{\text{ВМ}}$ – втрати напору в водомірі; $Z_{\text{ГНВ}}$, $Z_{\text{ГВВ}}$ – позначки горизонтів низьких та високих вод у джерелі

Основне і резервне устаткування насосних станцій першого підйому.

Основні робочі насоси підбирають за розрахунковим значенням Q і H з урахуванням спільної роботи насосів і водоводів. Розрахункова подача насосів залежить від їхньої кількості. Під час підбору насосів необхідно керуватися вимогами, зазначеними в п.1.7, а під час вибору їхньої кількості – враховувати таке:

- 1) збільшення кількості насосів спричиняє збільшення площі насосної станції, що ускладнює умови її експлуатації;
- 2) під час спільної роботи насосів у загальний водовід подача одного насоса, в порівнянні з подачею за індивідуальної його роботи зменшується, і чим більше насосів працюють разом, тим більше зменшення їхньої подачі;
- 3) чим менший насос, тим нижчий його ККД.

Отже, на станціях першого підйому має бути якнайменше робочих насосів (але не менше двох), за умов їхньої більшої потужності. На насосних станціях II та III категорій, за наявності відповідних причин, встановлюють один робочий насос.

Тип насоса обирають залежно від загальної потужності насосної станції. На великих станціях доцільніше використовувати вертикальні відцентрові або

осьові насоси, тому що вони вимагають меншої площі машинного залу. На середніх і малих станціях використовуються насоси типу Д або К. В окремих випадках на станціях з великим заглибленням доцільно застосовувати свердловинні насоси. Робочі насоси на станції повинні бути однотипними.

Під час проектування насосних станцій першого підйому, враховуючи, що їх розширення (у зв'язку з перспективою розвитку водопостачання) пов'язане з великими технічними труднощами, передбачають місце для установки додаткових агрегатів або збільшують розміри фундаментів, щоб можна було встановити насос більшої потужності [1, 3, 18].

Резерв насосного устаткування обирають відповідно до таблиці 2.1.

Таблиця. 2.1 – Визначення кількості резервного насосного устаткування на насосній станції

Кількість робочих агрегатів однієї групи	Кількість резервних агрегатів у насосних станціях категорії		
	I	II	III
До 6	1	1	1
Від 6 до 9	1	1	—
Більше 9	2	2	—

Примітка. До кількості робочих агрегатів зараховуються протипожежні насоси.

На станціях першого підйому, які подають воду в системи оборотного водопостачання, допускається встановлення одного резервного агрегату. Резервні агрегати обирають такого ж типу, як і основні.

Протипожежні насоси на станціях першого підйому. Насосні станції першого підйому об'єднаних систем господарсько-питних і протипожежних водопроводів виконують функцію поповнення витраченого недоторканого запасу, що зберігається в резервуарах чистої води насосних станцій другого підйому.

Можливість відновлення протипожежного запасу води за розрахунковий період враховується під час визначення повної подачі насосної станції. Витрачений протипожежний запас може бути відновлений шляхом форсування роботи основних насосів; включення господарських насосів, якщо вони працюють не цілодобово; увімкнення резервних насосів; основних насосів внаслідок скорочення водоспоживання. На період відновлення протипожежного запасу води [17] допускається зниження господарсько-питного водоспоживання до 70 % і виробничого – за графіком. У випадку, якщо перерахованими способами відновити протипожежний запас неможливо, необхідно встановлювати спеціальний протипожежний насос. Під час відновлення протипожежного запасу за допомогою основних господарських насосів повна подача насосної станції визначається за формулою:

$$Q = Q_I + \frac{3Q_{II} + \Sigma Q_{\max} - 3Q_I}{T}, \quad (2.4)$$

де Q_I – середньогодинна подача насосної станції першого підйому, м³/год;

$3Q_{II}$ – повний обсяг води за 3 год. гасіння пожежі, м³ (3 год. – розрахункова тривалість гасіння пожежі);

$\Sigma Q_{\max}$ – сумарний обсяг води, що витрачається на господарсько–питні потреби за 3 год. найбільшого водоспоживання, м³ (за графіком водоспоживання);

$3Q_I$ – обсяг води, що надходить за 3 год. від насосної станції першого підйому, м³ (приймається в розрахунок, якщо гарантовано безперебійну подачу води насосною станцією першого підйому);

T – максимальна тривалість відновлення протипожежного запасу, год.

Державними будівельними нормами [17] встановлено такі максимальні норми часу відновлення протипожежного запасу води:

- 24 год. – у населених пунктах і на промислових підприємствах з виробництвами, віднесеними за пожежною небезпекою до категорій А, Б, В;
- 36 год. – на промислових підприємствах з виробництвами, віднесеними за пожежною небезпекою до категорій Г і Д;
- 72 год. – у сільських населених пунктах і на сільськогосподарських підприємствах.

Для промислових підприємств із пожежною витратою води на зовнішнє пожежогасіння 20 л/с і менше допускається збільшення часу поповнення запасу води для виробництв категорій Г, Д і Є до 48 год., категорій В – 36 год.

Подача спеціальних протипожежних насосів визначається за формулою:

$$Q_{n.n} = \frac{3Q_{II} + \Sigma Q_{\max} - 3Q_I}{T}. \quad (2.5)$$

Розміщення насосних агрегатів на станціях першого підйому. Розміщення насосних агрегатів визначається за формою машинного залу в плані, за типом насосів і способом підведення до них води.

Насосні станції першого підйому на поверхневих джерелах найчастіше бувають заглибленими, і їхнє будівництво здійснюється в складних геологічних і гідрогеологічних умовах. Із огляду на це компонування устаткування повинне сприяти зменшенню розмірів споруди станції з урахуванням можливості збільшення її потужності у майбутньому. Розміщення насосного устаткування і трубопроводів також повинне забезпечувати зручність, безпеку, оперативність їхнього обслуговування та ремонту.

Розміщення насосів у вертикальній площині на станціях першого підйому насамперед залежить від типу насосів. Вертикальні відцентрові та осьові насоси монтують так, щоб їхні корпуси знаходилися нижче мінімального рівня води в джерелі. Горизонтальні відцентрові насоси типу Д та К також переважно встановлюють на таких позначках, щоб корпуси насосів заливалися водою самопливом за мінімальних розрахункових рівнів води в джерелі. Їх можна

монтувати вище мінімального рівня води в джерелі на позначках, що не перевищують припустиму висоту всмоктування. У цьому випадку необхідно передбачати пристрій для заливання насосів перед запуском [1–4, 8, 19].

На рисунку 2.3 подані найбільш характерні схеми розташування насосних агрегатів [21].

Відстані між агрегатами приймають не менше 1 м; між агрегатами й стінами у наземних станціях – не менше 1 м, у заглиблених – не менше 0,7 м; між нерухомими виступаючими частинами устаткування – 0,7 м.

Проектування усмоктувальних і напірних трубопроводів насосних станцій першого підйому. Усмоктувальні трубопроводи є найбільш важливими елементами насосних установок, тому що від правильності їх розрахунку, конструкції та експлуатації залежить економічність роботи насосів. Найчастіше усмоктувальні труби працюють в умовах вакуумметричного тиску [1–3].

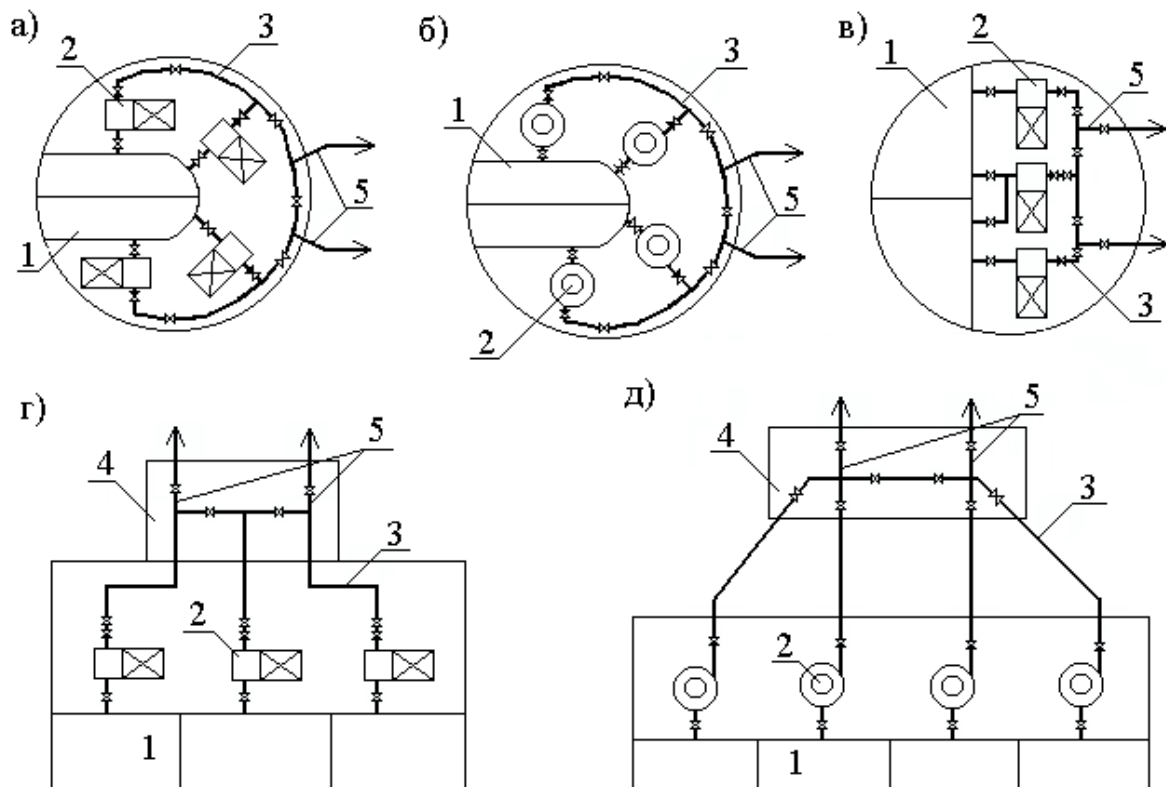


Рисунок 2.3 – Схеми розміщення насосного обладнання, трубопроводів і арматури в сполучених насосних станціях:

- а), в) круглі у плані з горизонтальними насосами;
- б) круга в плані з вертикальними насосами;
- г) прямокутна з горизонтальними насосами;
- д) прямокутна з вертикальними насосами;
- 1 – водоприймальна камера;
- 2 – насос;
- 3 – напірний трубопровід;
- 4 – камера переключень;
- 5 – напірний водовід

Найкращою умовою для нормальної роботи насосів є забезпечення кожного насоса індивідуальною усмоктувальною трубою. Однак це можливо тільки під час використання осьових, вертикальних відцентрових та невеликої кількості (до чотирьох) горизонтальних насосів. Якщо кількість горизонтальних відцентрових насосів більше чотирьох, то на станціях роздільного типу значно збільшуються габарити водозабірної споруди, ускладнюється пристрій усмоктувальних трубопроводних комунікацій, що спричиняє здорожчання будівництва гідровузла загалом. У цьому випадку кількість усмоктувальних труб поза спорудою має бути меншою, ніж кількість насосів, за умови облаштування загального колектора, до якого підключають ці насоси. Кількість зовнішніх усмоктувальних ліній на насосних станціях першої та другої категорії надійності не повинна бути менше двох. До того ж кожна з ліній повинна бути розрахована на випадок аварії на повну розрахункову витрату для станцій першої та другої категорії і 70 % розрахункової витрати – для станцій третьої категорії.

Вхідні отвори всмоктуючих трубопроводів насосів повинні бути заглиблені під мінімальний рівень води в приймальному відділенні колодязя у разі аварійного режиму (рис. 2.4). Якщо заглиблення буде недостатнім, то біля вхідних отворів утворюються коловороти, через які в усмоктуючі труби потрапить повітря, що спричинить зрив роботи насосів.

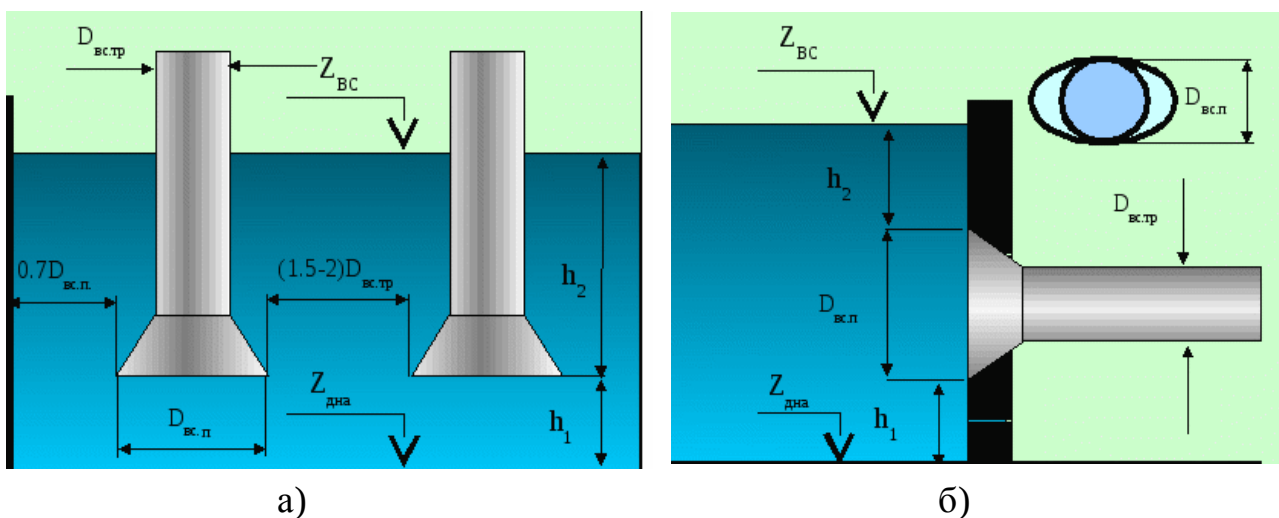


Рисунок 2.4. – Схеми розміщення усмоктувальних труб у камері:

а) у разі двох вертикальних труб;

б) у разі однієї горизонтальної усмоктувальної труби

Приймаючі кінці усмоктувальних труб у камерах водоприймальних споруд повинні розміщуватися таким чином, щоб було забезпечене вільне й рівномірне підведення води (рис. 2.4, а). Для зниження опору під час входу потоку до усмоктувальних трубопроводів приварюються приймаючі конуси, діаметр вхідного отвору яких $D_{вх} = (1,25 \dots 1,5) d$, де d – діаметр усмоктувальної труби. Центральний кут конічності воронки $\varphi = 8 \dots 16^\circ$. Щоб уникнути утворення коловороту і засмоктування повітря обріз приймального конуса поринає на мінімальну глибину $h_{min} = (0,6 \dots 1,2)$ м. У випадку, якщо цю глибину занурення забезпечити не можна, на кінцях приймальних конусів розміщують

екрани, які мають вигляд металевих пластин розміром не менше $2D_{\text{вх}}$. Відстань від вхідного отвору до підлоги камери повинна бути не менше $0,8D_{\text{вх}}$. Приймальні клапани встановлюють на усмоктувальних трубопроводах діаметром не більше 200 мм. За більших діаметрів занадто велика вага клапана спричиняє підвищення втрат напору.

У разі горизонтального розміщення всмоктуючих трубопроводів (рис. 2.4, б) для зменшення рівня води у колодязі воронку можна виготовити у вигляді еліпса.

Під час конструювання усмоктувальних трубопроводів необхідно враховувати такі вимоги:

1) усмоктувальна лінія повинна бути герметичною, щоб унеможливити проникнення повітря в середину труби, тому що не розчинене у воді повітря дуже впливає на подачу насоса. Підсмоктування 1 % повітря на 1 м^3 води, що перекачується, знижує подачу на 5–10 %, до того ж знижується напір;

2) конструкція усмоктувальної лінії повинна унеможливлювати скупчення в ній повітря (утворення повітряних «мішків»). Верхня утворююча довгих трубопроводів має бути нахилоною у бік від насоса не менше ніж на 0,005. Якщо усмоктувальні труби декількох насосів об'єднані загальним колектором, то усмоктувальна лінія повинна складатися із труб різних діаметрів. Щоб уникнути скупчування повітря, труби різних діаметрів з'єднують за допомогою косих вставок;

3) для зменшення втрат напору усмоктувальні трубопроводи повинні мати як можна меншу довжину та найменшу кількість арматур і фасонних частин.

На рисунку 2.5 наведені приклади неправильного та правильного розташування всмоктуючих труб [20].

Усмоктувальні трубопроводи як у межах насосної станції, так і поза нею виконуються зі сталевих труб на зварюванні із застосуванням фланцевих з'єднань для приєднання до арматури та насосів.

Діаметри трубопроводів визначаються за економічними швидкостями [1–4]: за $V_{\text{вс}} = 0,6\text{--}1 \text{ м/с}$ – діаметр до 250 мм; за $V_{\text{вс}} = 0,8\text{--}1,5 \text{ м/с}$ – $d = 300\text{--}800 \text{ мм}$ і за $V_{\text{вс}} = 1,2\text{--}2,0 \text{ м/с}$ – $d > 800 \text{ мм}$.

Запірну арматуру на усмоктувальних трубах встановлюють у випадках, коли насоси розміщені нижче рівня води в джерелі або коли вони підключені до загального колектора.

Усмоктувальні трубопроводи і колектори на станціях першого підйому (заглиблених і шахтних) найчастіше укладають по підлозі машинного залу на бетонних підставках, із перехідними містками над трубами. В окремих випадках, за відповідного техніко-економічного обґрунтування, допускається укладання в каналах. У кожному разі до усмоктувальних труб повинен забезпечуватися вільний доступ для їхнього огляду та періодичного підтягнення болтових з'єднань.

Основні геометричні розміри камер усмоктувальних труб визначають за кратністю водообміну:

$$L = \frac{W}{BH} = \frac{kQ}{BH}, \quad (2.6)$$

де W – обсяг води в камері, м^3 ;

Q – середня подача насоса, $\text{м}^3/\text{с}$;

k – кратність водообміну: $k = W/Q = 15\text{--}20$.

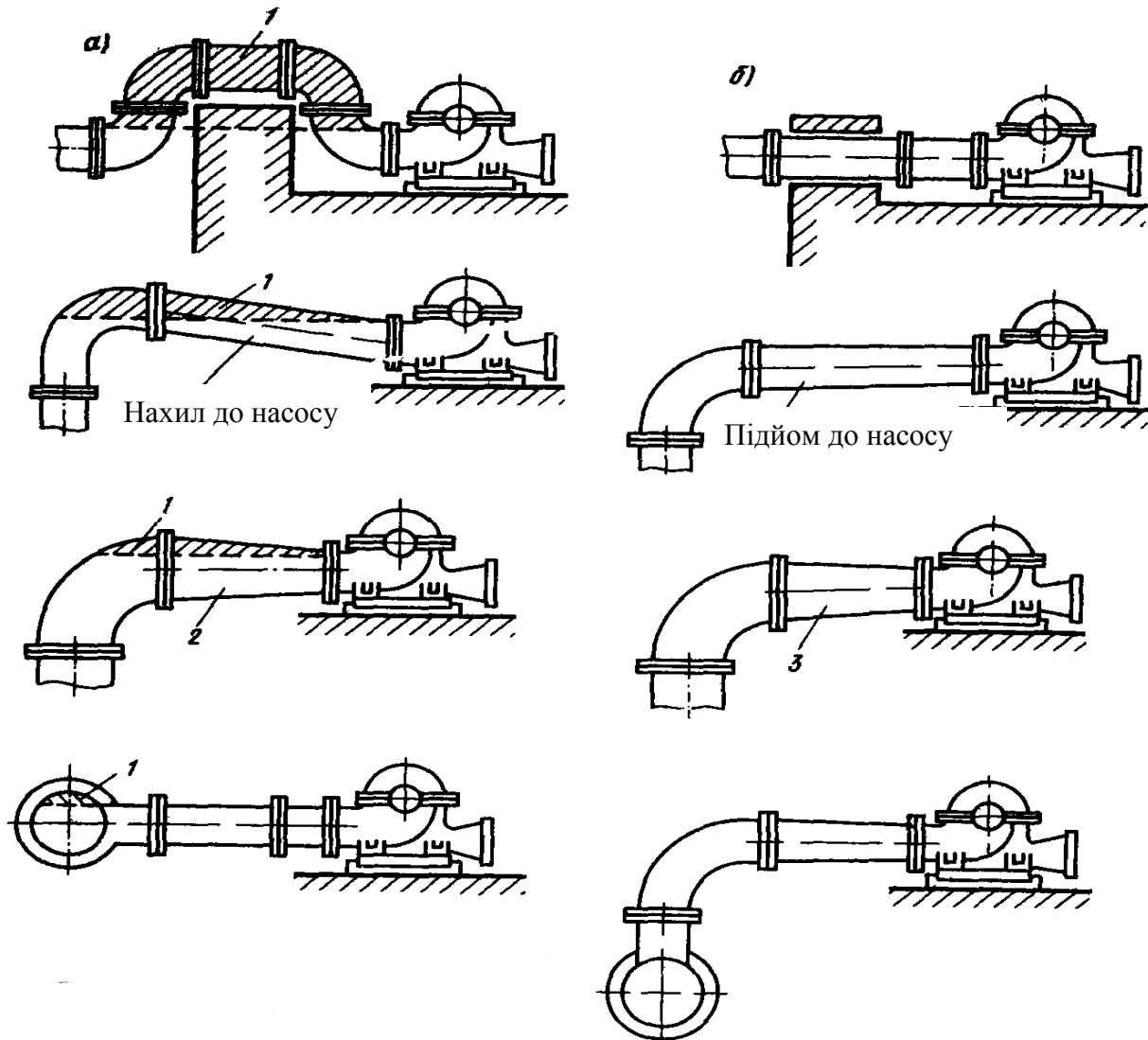


Рисунок 2.5 – Неправильне (а) та правильне (б) розташування усмоктуючих труб:

1 – повітряний мішок;

2 – прямий перехід;

3 – косий перехід

Усмоктувальні труби осьових і вертикальних відцентрових насосів мають складну форму (рис. 2.6). Вони виготовляються з металу і постачаються разом із насосами або – з бетону під час спорудження підводного блоку будівлі насосної станції.

Напірні трубопроводи насосних станцій призначені для подачі рідкого середовища, що перекачується, від насосів до водоводів. Найчастіше кількість водоводів, що відходять від станції, буває меншою за кількість насосів, тому

напірні трубопроводи поєднують у загальний колектор. Всі напірні трубопроводи і колектори всередині насосної станції виконуються зі сталевих труб на зварюванні з використанням фланцевих з'єднань для кріплення їх до насосів і арматури.

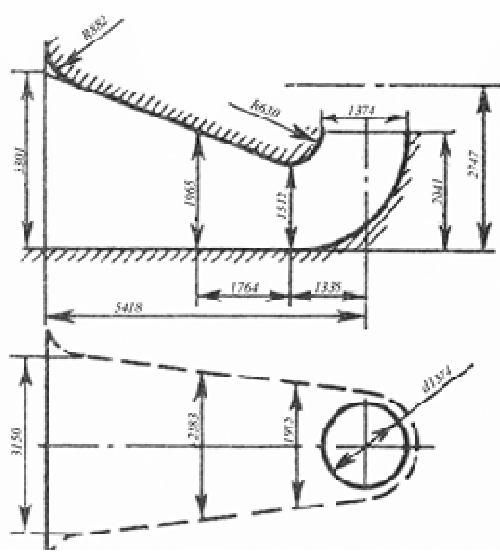


Рисунок 2.6 – Принципова схема усмоктуючої труби осьового насоса

Труби різних діаметрів з'єднують прямими переходами. Діаметри напірних трубопроводів визначають за розрахунковою витратою води та економічними швидкостями: $V_n = 0,8\text{--}2,0$ м/с (для труб діаметром до 250 мм); $V_n = 1,0\text{--}3,0$ м/с (за $d = 300\text{--}800$ мм); $V_n = 1,5\text{--}4,0$ м/с (за $d > 800$ мм).

На напірній стороні кожного насоса встановлюється зворотний клапан, який перешкоджає зворотному руху води, що перекачується, у випадку припинення подачі енергії до електродвигуна насоса (аварійний випадок), а також під час вимикання насоса, якщо система розрахована на запуск і зупинку насоса на відкриту засувку. На напірних трубопроводах є необхідна кількість засувок, водоміри (індивідуальний на кожен насос або сумарний на початку водовода), гасителі енергії гідравлічного удару (за необхідності) і контрольно-вимірювальна апаратура.

Укладання напірних трубопроводів на станціях першого підйому робиться по підлозі машинного залу на опорах з бетону з перехідними містками. У шахтних станціях напірний колектор можна підвищувати до перекриттів або закріплювати на консолях до стін. Це дає змогу зменшити габарити машинного залу. Відстань від підлоги до колектора підвісної конструкції повинна бути не менше 2 м. Засувки та іншу арматуру встановлюють на бетонні подушки таким чином, щоб їхня вага не передавалася на патрубки насосів.

На рисунку 2.7 зображені схеми найбільш характерних компоновань усмоктувальних і напірних трубопроводів насосних станцій першого підйому [20]. На станції роздільного типу (рис. 2.7, а) кожен насос обладнується індивідуальними усмоктувальними і напірними трубопроводами. В окремих випадках усмоктувальні та напірні трубопроводи можуть бути об'єднані відповідно усмоктувальними і напірними колекторами.

На рисунку 2.7, б зображене компонування з напірним колектором, розташованим на підлозі машинного залу. Схема з його розміщенням на підлозі верхнього (над машинним залом) приміщення подана на рисунку 2.7, в. На рисунку 2.7, г наведена схема з підвісним напірним колектором, а на рисунку 2.7, д – з напірним колектором, прикріпленим до стіни на консолях.

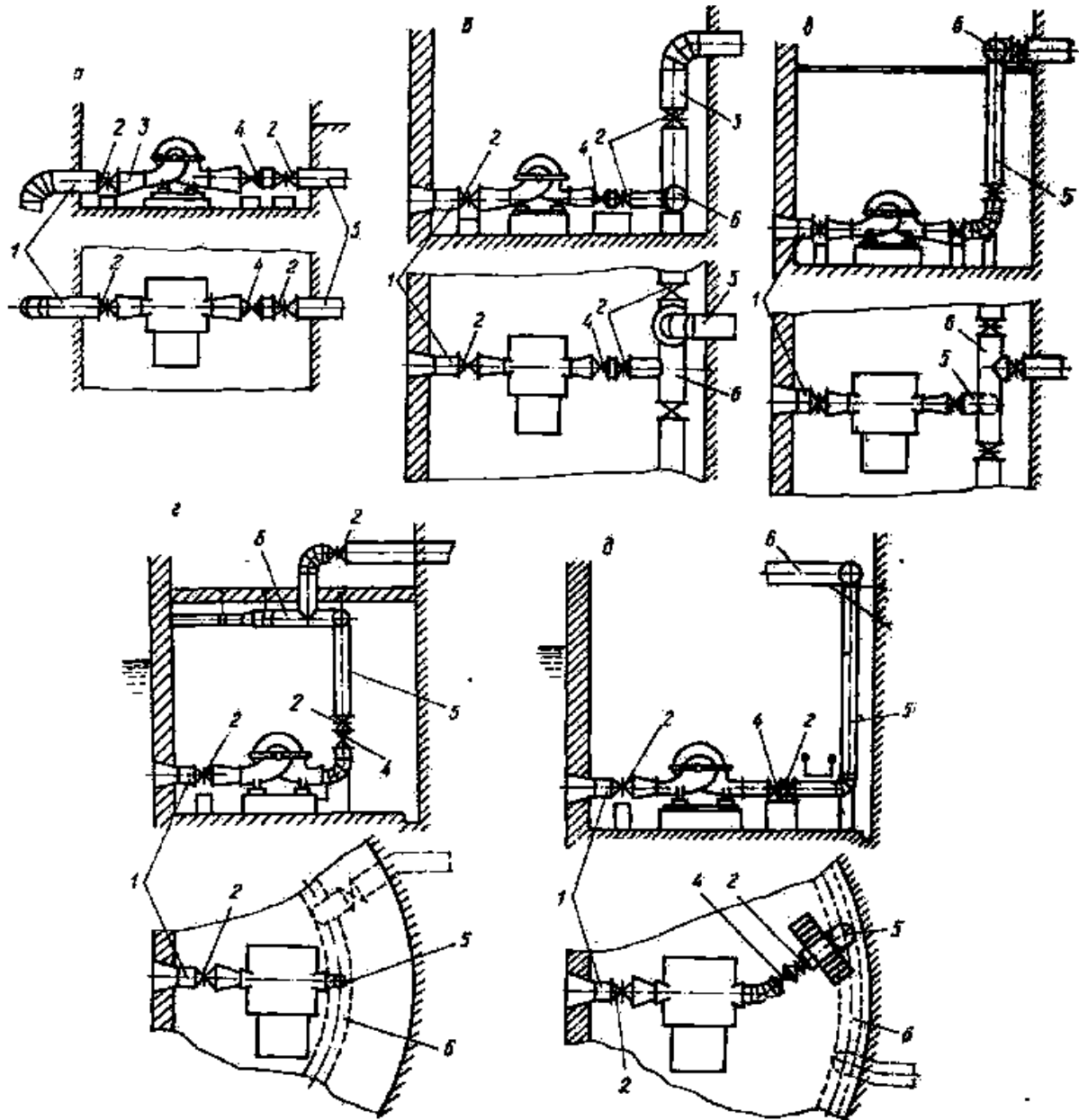


Рисунок 2.7 – Схеми компонувань усмоктувальних і напірних трубопроводів насосних станцій першого підйому з насосами типу Д:

- 1 – усмоктувальний трубопровід;
- 2 – засувка;
- 3 – косий перехід;
- 4 – зворотний клапан;
- 5 – напірний трубопровід;
- 6 – напірний колектор

На ділянках напірних трубопроводів від колектора до камери підключення до водоводів безпосередньо біля споруди станції або на невеликій

відстані від неї необхідно споруджувати камери для встановлення водомірів, запобіжних клапанів або гасителів енергії гідравлічного удару, в окремих випадках – зворотних клапанів. Розміщення запобіжних і зворотних клапанів поза будинком заглиблених станцій зменшує можливість їхнього затоплення під час аварії на трубопроводах усередині станції.

Схеми перемикань усмоктувальних і напірних трубопроводів насосних станцій першого підйому. Безперебійність подачі води насосною станцією першого підйому у великій мірі залежить від наявності на усмоктувальних і напірних трубопроводах необхідної кількості запірної арматури. Її розміщення має забезпечувати заміну або ремонт будь-якого насоса й основної арматури трубопроводів, з урахуванням можливого зниження подачі води відповідно до категорії споруди.

Залежно від конкретних умов, схеми перемикання трубопроводів можуть бути різноманітними. На рисунку 2.8 зображені схеми перемикань на насосних станціях сполученого типу, обладнаних горизонтальними (схеми *а* і *в*) та вертикальними (схеми *б* і *г*) насосами [21].

Влаштування спареної усмоктувальної труби (схеми *а* і *б*) для одного (середнього) з насосів дає змогу забезпечити постійну роботу двох насосів у разі відключення на ремонт кожної з водоприймальних камер.

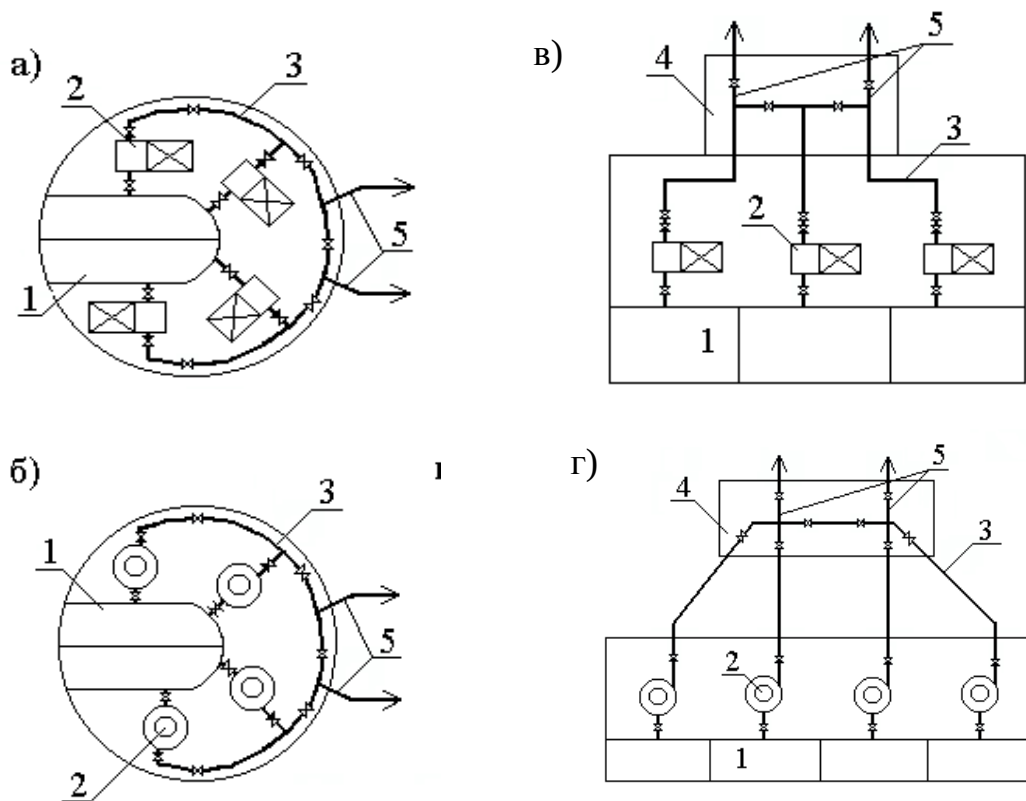


Рисунок 2.8 – Схеми перемикань усмоктувальних і напірних трубопроводів станцій першого підйому:

- 1 – приймальне відділення;
- 2 – насос;
- 3 – напірний колектор;
- 4 – камера перемикань;
- 5 – напірні водоводи.

Споруди насосних станцій першого підйому. У будівлі насосної станції, крім службових і побутових приміщень, розміщується все гідромеханічне, електричне та допоміжне устаткування. Споруди насосних станцій першого підйому (рис. 2.9: а) – сполучені, б) – роздільні) найчастіше бувають заглибленого типу. Вони складаються з підземної частини і верхньої будівлі. Споруди станцій поділяються на блокові (рис. 2.10, б) і камерні (рис. 2.10, в). До того ж, залежно від використовуваного насосного устаткування, камерні будівлі можуть бути із сухою і мокрою камерами [21].

У будівлях, виконаних за схемою, що наведена на рисунку 2.9, а, можуть бути використані як горизонтальні, так і вертикальні відцентрові насоси; у будівлях, виконаних за схемою рисунка 2.10, б, – тільки вертикальні осьові насоси, а за схемою рисунка 2.10, а, в – тільки горизонтальні відцентрові насоси.

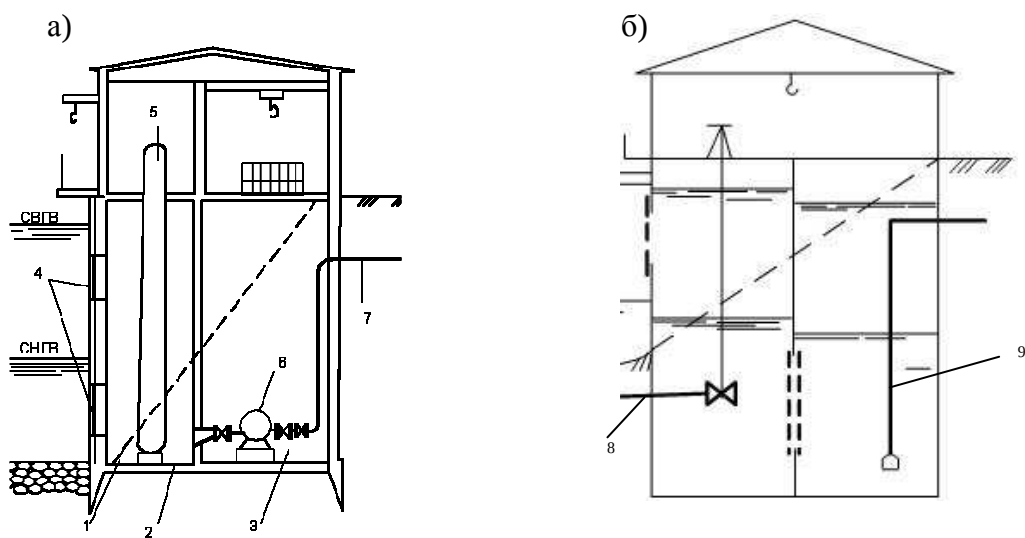


Рисунок 2.9 – Типи підземної та наземної частини насосних станцій першого підйому:

- а) НС сполученого типу;
- б) НС роздільного типу;
- 1 – приймальне відділення;
- 2 – фундамент приймального відділення;
- 3 – машинний зал;
- 4 – приймальні вікна;
- 5 – обертова сітка;
- 6 – насос;
- 7 – напірний трубопровід;
- 8 – самопливний трубопровід;
- 9 – всмоктувальний трубопровід

Вода із джерела через водоприймальні вікна надходить у водоприймальну камеру, де проходить первинну очистку від великих механічних включень і водоростей, а далі через усмоктувальні труби перекачується насосами за призначенням. У всіх приміщеннях насосних станцій, у яких встановлене устаткування, є вантажопідйомні механізми.

Враховуючи, що підземна частина будівлі перебуває в складних гідрогеологічних умовах, за яких важко забезпечити її водонепроникність,

камери виконують із монолітних бетонних і залізобетонних стінових конструкцій з посиленою гідроізоляцією. В окремих випадках (частіше для станцій роздільного типу) підземна частина камерних будівель може споруджуватися зі збірних залізобетонних конструкцій.

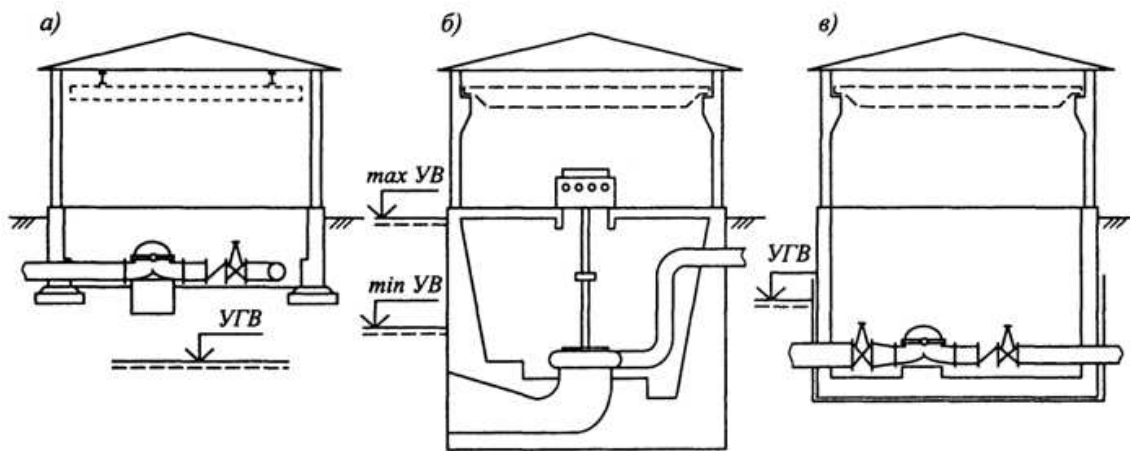


Рисунок 2.10 – Типи фундаментів підземної частини насосних станцій:

- а) з роздільними фундаментами під обладнання і будівельні конструкції,
- б) блочна,
- в) камерна

Підземну частину будови блокового типу роблять у вигляді монолітного бетонного блоку, під час спорудження якого одночасно виконують усмоктувальні труби насосів. Будови такого типу споруджують для великих водопровідних станцій.

Розміри підземної частини будівлі в плані визначаються, насамперед, типом і компонованням насосного устаткування й трубопровідних комунікацій, з урахуванням встановлених державними будівельними нормами відстаней між ними. Заглиблення залежить від максимальної амплітуди коливання рівня води в джерелі, а також від розташування осі насосів щодо мінімального рівня води.

Верхня будівля споруди насосної станції є будівлею промислово-цехового типу. У більшості випадків вона виконується із цегли або збірних залізобетонних конструкцій. У наземній частині будівлі розміщуються всі службові та побутові приміщення, трансформаторна підстанція, а на станціях, обладнаних вертикальними насосами, розміщується також зал електродвигунів. За сприятливих кліматичних умов насосні станції першого підйому можуть споруджуватися без верхньої будівлі на відкритих майданчиках.

Вертикальні розміри приміщень насосних станцій, обладнаних стаціонарними вантажопідйомними механізмами для підйому й транспортування вантажів, обирають із урахуванням розміщення платформи транспортних засобів, довжини строп (0,5–1 м), найбільших габаритів деталі або вузла, що транспортуються, та умов транспортування з таким розрахунком, щоб відстань між вузлом, що транспортується, і встановленим устаткуванням була не менше 0,5 м. Висота машинних приміщень без кранового устаткування приймається не менше 3 м. Остаточні розміри будинків (у плані та вертикальні) уточнюються за ДБН.

Приклади насосних станцій першого підйому на поверхневих джерелах. Будівля насосної станції першого підйому берегового типу подана на рисунку 2.11, становить собою заглиблену, круглу в плані споруду камерного типу із сухою камерою. Проектом передбачена можливість встановлення чотирьох насосів двох марок Д 5000–50 або Д 4000–22, під час роботи яких повна подача станції становить 4,5–6 м³/с [21].

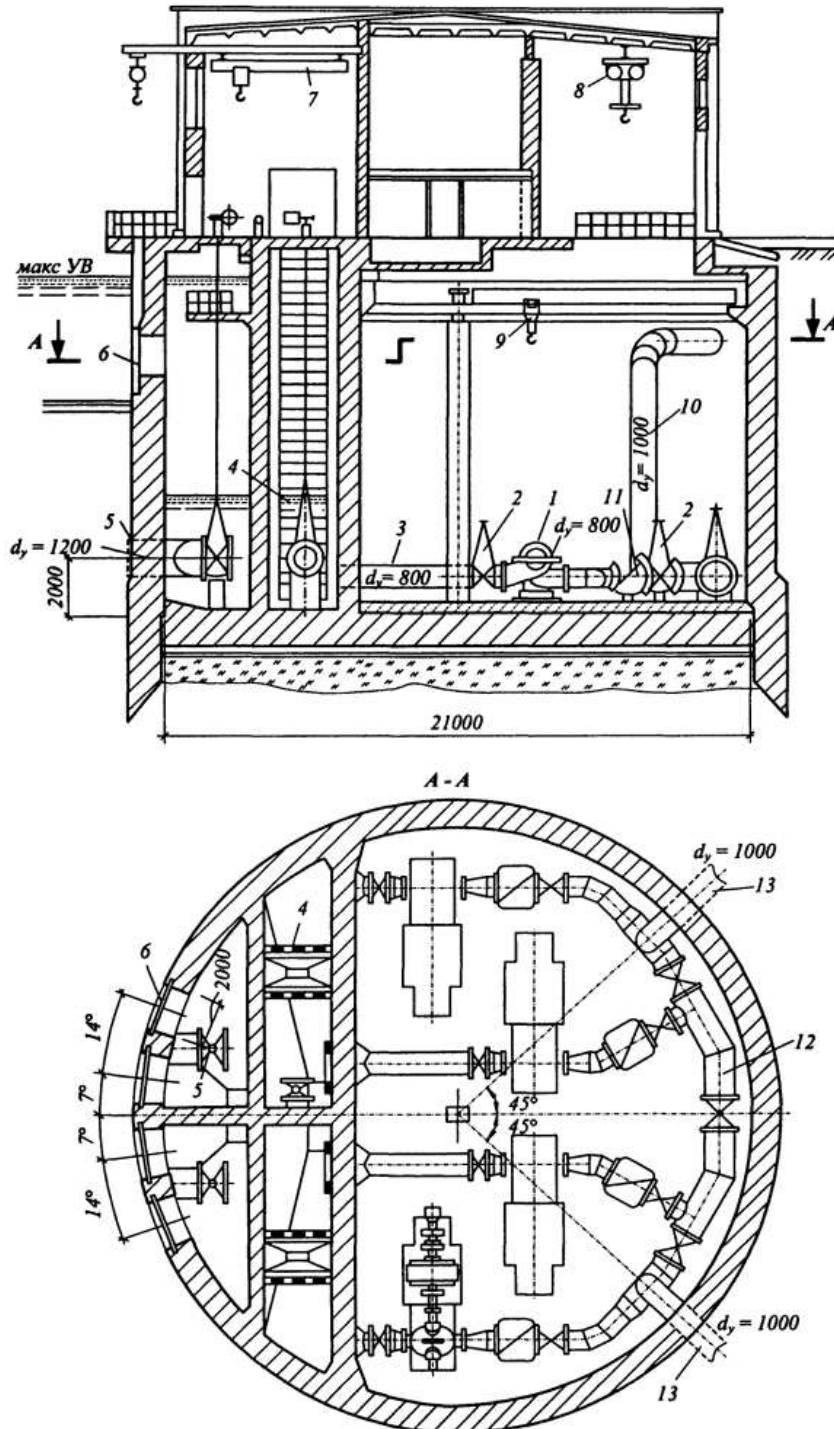


Рисунок 2.11 – Насосна станція з комбінованим водозабором:

- | | | |
|--------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| 1 – насоси, | 6 – входні вікна, | 10 – вертикальні стояки, |
| 2 – засувки, | 7 – підвісна кран-балка, | 11 – зворотні клапани, |
| 3 – усмоктуюча труба, | 8 – тельфер, | 12 – напірний колектор, |
| 4 – каркасні сітки, | 9 – радіальна кран-балка | 13 – зовнішні напірні трубопроводи |
| 5 – самопливні водоводи, | | |

Вода із джерела через водоприймальні вікна, розміщені у два яруси, попадає в прийомну камеру і, пройшовши через обертові сітки, надходить у камери усмоктувальних труб. За необхідності воду до водоприймача можна підводити самопливними лініями. Спорудою допускається амплітуда коливання рівня води до 8 м. Обертові сітки промиваються водою з напірних трубопроводів станції. Напірний колектор прокладений по підлозі машинного залу.

Машинне приміщення обладнується радіальною кран-балкою вантажопідйомністю 10 т. У верхньому приміщенні над машинним залом передбачена монорейка з електроталю вантажопідйомністю 10 т. Верхнє приміщення водоприймача обладнується ручною підвісною кран-балкою з ручною кішкою вантажопідйомністю 5 т. Для підйому ремонтних затворів водоприймальних вікон поза будівлею передбачена монорейка з ручною кішкою вантажопідйомністю 2 т.

Типова насосна станція першого підйому зображена на рисунку 2.12, вона обладнана чотирма вертикальними осьовими насосами марки ОПВ 2–87 з подачею $3 \text{ м}^3/\text{с}$ кожний та напором 13,6 м.

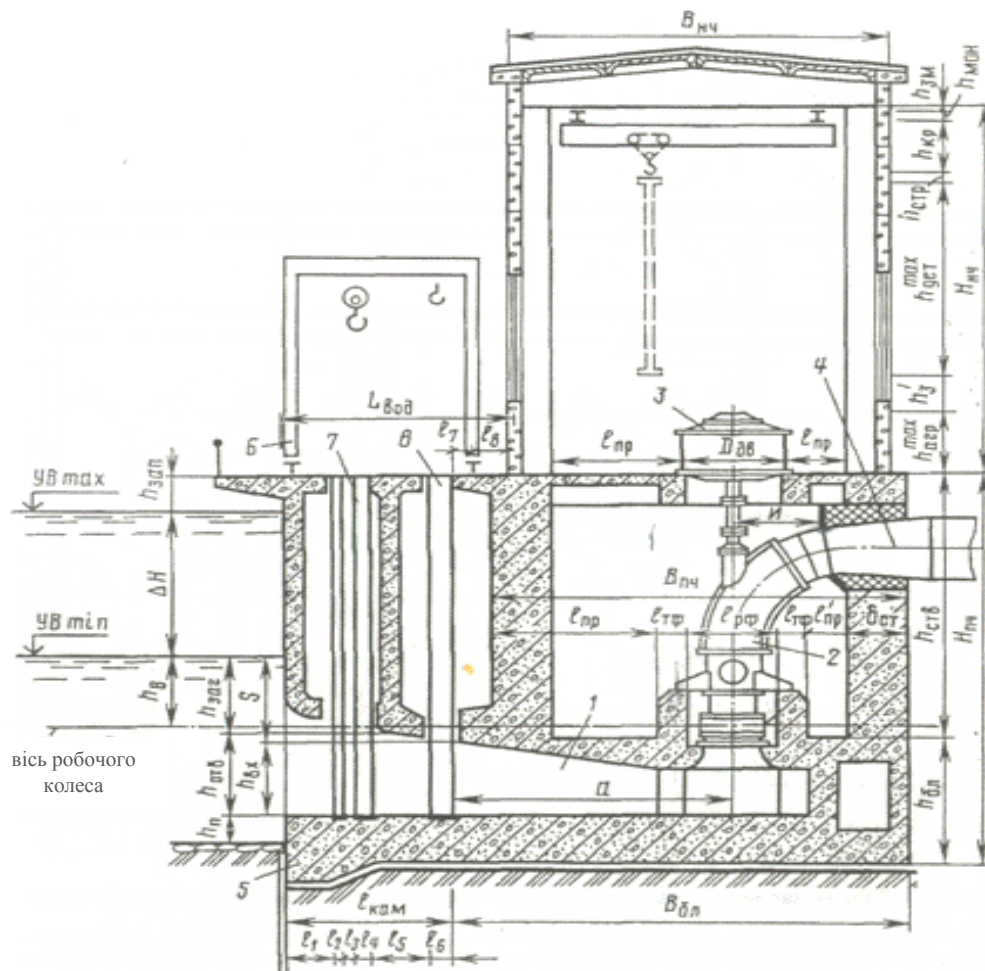


Рисунок 2.12 – Будівля насосної станції блочного типу у разі установлення в ній вертикальних осьових насосів:

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1 – підвідна труба; | 5 – фундамента плита будівлі; |
| 2 – вертикальний осьовий насос; | 6 – козловий кран; |
| 3 – електродвигун; | 7 – паз для встановлення решітки, що затримує великі домішки; |
| 4 – дифузор; | 8 – паз ремонтного затвора |

Водоприймач розділений на чотири секції за кількістю насосів. Вода до насосів підводиться через прямокутні вікна із ґратами. Усередині камер встановлені обертові сітки з лобовим підведенням води. Амплітуда коливання рівня води – 5,5 м.

Підземна частина станції виконується з монолітного залізобетону, а верхня споруда – із цегли. Будова насосної станції прямокутна в плані. Її підземна частина – блокового типу з монолітного залізобетону, з використанням збірних елементів. Це значно зменшує вартість будівництва. Підведення у вигляді усмоктувальної труби становить одне ціле з підземним блоком.

Наземна частина споруди станції каркасної конструкції також вибудовується зі збірних елементів. У ній розміщені вертикальні електродвигуни насосів і механізми приводу обертових сіток. У машинному залі передбачене підйомно-транспортне устаткування у вигляді мостового крана з електроприводом вантажопідйомністю 10 т. Монтаж насосного устаткування виконується цим же краном через монтажні люки. Для обслуговування щитового господарства поза будівлею насосної станції передбачений напівкозловий кран, привід якого також електрифікований.

2.3 Насосні станції першого підйому із забором води з підземних джерел

Загальна схема водозабірної споруди першого підйому із підземного джерела. Для забору води з підземного джерела кожен водозабірну споруду (свердловина, шахтний колодязь) обладнують індивідуальною насосною установкою. Всі насоси підключають до загального колектора або водоводу, за яким вода транспортується на очисні споруди, а якщо очистка не потрібна – у резервуари чистої води. Кількість установок, що входять у загальну систему водозабору першого підйому, залежить від обсягу водоспоживання і потужності водоносних шарів [1 – 4].

В окремих випадках за відносно невеликого обсягу водоспоживання й наявності шарів, багатих на воду, можна обійтися однією – двома установками.

До складу водозабірної споруди першого підйому (рис. 2.13) входять вісім насосних установок 1 на свердловинах, якими вода напірними трубами 2 перекачується на очисні споруди 3 (за необхідності) і в резервуар чистої води 4, звідки насосами станції другого підйому подається споживачеві.

Режим роботи, визначення подачі та напору. Під час використання підземних джерел водопостачання режим роботи насосних установок першого підйому протягом доби в більшості випадків призначається рівномірним. Рівномірний режим дає змогу стабілізувати роботу свердловини, повніше використати водоносний шар, що експлуатується, зменшити відбір води із свердловини у порівнянні з її розрахунковим дебітом, а отже, зменшити і розміри насосного устаткування [1].

Загальна подача всієї водозабірної споруди першого підйому розраховується за формулою (2.1), а подача кожної насосної установки визначається залежно від дебіту свердловини з урахуванням спільної роботи цих установок на загальний напірний водовод.

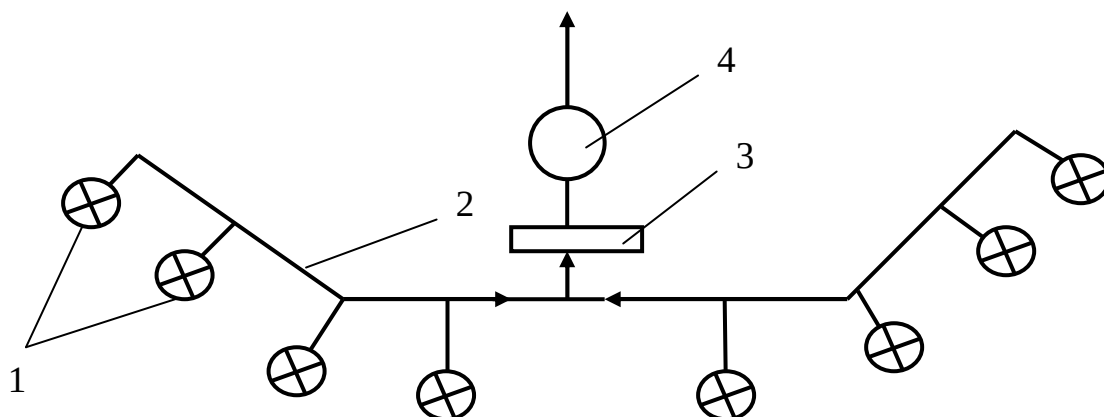


Рисунок 2.13 – Схема водозабірної споруди першого підйому на підземному джерелі

Розрахунковий напір кожної насосної установки визначають як різницю максимальної позначки горизонту води в резервуарі, куди вона подається, і мінімальної позначки динамічного рівня води в свердловині, з урахуванням втрат напору на всій ділянці руху води, яку перекачує насос.

Під час розрахунку режиму роботи насосних установок на свердловинах необхідно враховувати таке. Заводи-виготовлювачі в паспортах свердловинних насосів наводять характеристики без урахування втрат напору у водопідйомній трубі в межах свердловини, тому що довжина цієї труби в кожному конкретному випадку буває різною, тобто подають залежності Q , N , η від напору H , який розвиває насос, до перетину на виході з насоса. Отже, щоб отримати залежність подачі насоса від напору H на вихідному патрубку водопідйомної труби, необхідно побудувати дросельну характеристику насоса.

Характеристика водопідйомної труби може бути виражена залежністю:

$$n_{\pi} = n \cdot l \cdot S \cdot Q^2, \quad (2.7)$$

де n – кількість секцій водопідйомної труби;

l – довжина секції, м;

S – питомий опір водопідйомної труби.

Для занурених насосів опір водопідйомної труби S (м³/год) залежить тільки від її діаметра:

d , мм	50	75	100	125	150
S (на 10 м труби)	0,01	0,0015	0,00025	0,000075	0,000028

Під час розрахунку подачі насосних установок першого підйому необхідно також враховувати можливість їхнього використання для поповнення витраченого протипожежного запасу води. Останній може бути поповнений внаслідок форсування роботи насосних установок, що подають воду для господарських потреб. Якщо форсований режим неможливий, необхідно передбачити спеціальні протипожежні свердловини з повним комплектом устаткування. Подача насосів з урахуванням поповнення недоторканного протипожежного запасу підраховується за формулами (2.2) і (2.3).

Приклади насосних станцій (установок) першого підйому на підземних джерелах. Насосні установки першого підйому споруджують над устям водозабірних свердловин. Приміщення для установок, залежно від гідрогеологічних умов, виконують у вигляді заглибленої камери або наземного павільйону. У ньому розміщуються устя свердловини, електродвигун (якщо свердловина обладнана насосом із трансмісійним валом), запірно-регулююча і запобіжна арматура, контрольно-вимірювальні прилади (рис. 2.14). Розміри приміщення в плані залежать від розміщення устаткування (зазвичай 3×3 м), висота повинна бути не менше 2,5 м [22].

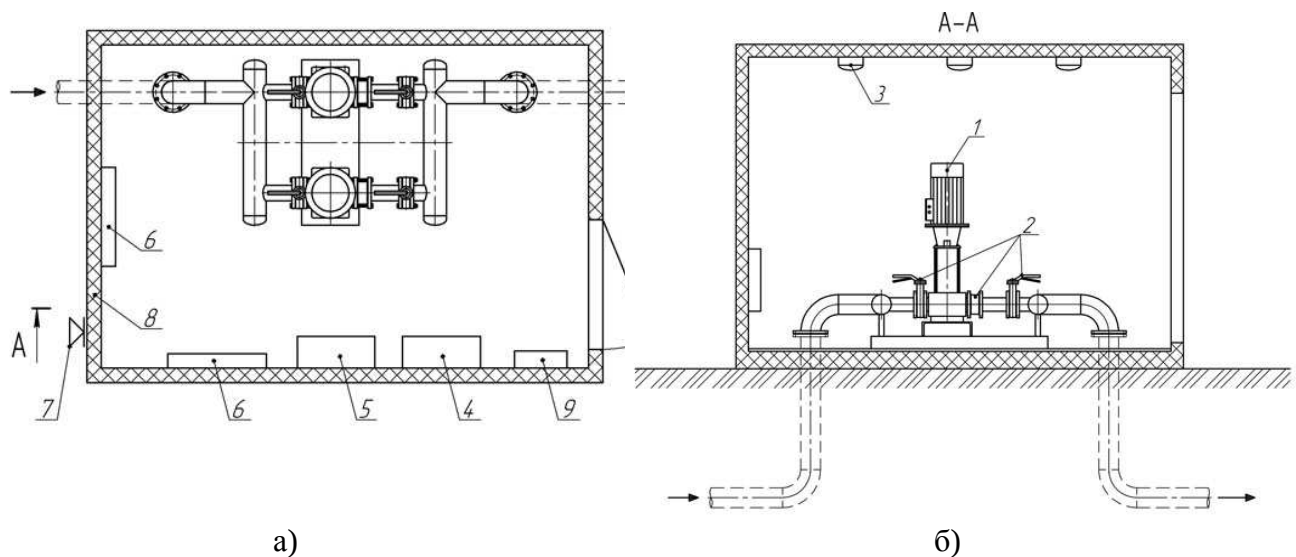


Рисунок 2.14 – Насосна станція першого підйому над свердловиною:

- а) вид зверху;
- б) переріз А–А;
- 1 – насос (1 робочий, 1 резервний);
- 2 – запірна арматура, трубопроводи, контрольно-вимірювальні прилади;
- 3 – освітлення;
- 4 – шафа АВР (автоматичне введення резервного живлення);
- 5 – шафа управління насосами;
- 6 – електричний нагрівач;
- 7 – вентиляційна решітка;
- 8 – павільйон;
- 9 – шафа для власних потреб.

На рисунку 2.14 наведена насосна установка першого підйому на свердловині, обладнана насосом із трансмісійним валом. Приміщення для установки виконано у вигляді заглибленої підземної камери. Захисні конструкції таких камер виготовляються з монолітного або збірного залізобетону.

Крім електродвигуна, у камері є запірна і запобіжна арматури, а також вимірювальні прилади. Для видалення води, яка просочується через стіни й нещільності з'єднань, передбачений дренажний самоусмоктуючий насос. Живлення електричною енергією групи таких установок звичайно здійснюється від загальної силової трансформаторної понижуючої підстанції.

Електроенергія до кожної установки підводиться повітряною або кабельною лінією.

Монтаж і демонтаж устаткування виконують автокраном або за допомогою триноги з поліспастом через монтажний люк. Керування роботою агрегату здійснюється з диспетчерського пункту.

Насосна станція на свердловині із приміщенням у вигляді камери колодязного типу, обладнана зануреним насосом, подана на рисунку 2.15 [23]. Насосні установки над свердловинами у вигляді наземних павільйонів у порівнянні з підземними зручніші для експлуатації, в них надійніше зберігається устаткування та апаратура, однак необхідність їхнього обігріву в зимовий період спричиняє ускладнення експлуатації і збільшення витрат електричної енергії.

У районі зі сприятливими кліматичними умовами устаткування устя свердловини може бути розміщене на відкритому майданчику без захисних конструкцій. Устаткування до того ж накривається металевим ковпаком, що захищає його від пилу та атмосферних осадів.

На рисунку 2.16 подані насосні установки з вертикальними відцентровими насосами для устаткування свердловин [24].

Насосні установки типу ЕЦВ використовують для обладнання свердловин глибиною від 10 до 700 і більше метрів. Вони можуть працювати у викривлених свердловинах за різноманітних гідрогеологічних умов. Насосні установки з трансмісійним валом застосовують для свердловин глибиною до 120 м; вони можуть працювати тільки у вертикальних свердловинах.

У сільськогосподарському водопостачанні для підйому води із свердловин застосовують водоструминні установки – сполучення струминних насосів з відцентровими (рис. 2.17) [25]. Струминний насос (гідроелеватор) занурюють у свердловину під динамічний рівень. Його нагнітальний патрубок з'єднується водопідйомною трубою з усмоктувальним патрубком відцентрового насоса, змонтованого на поверхні землі. Під час роботи установки частина води напірним трубопроводом надходить від відцентрового насоса, а інша частина – від гідроелеватора.

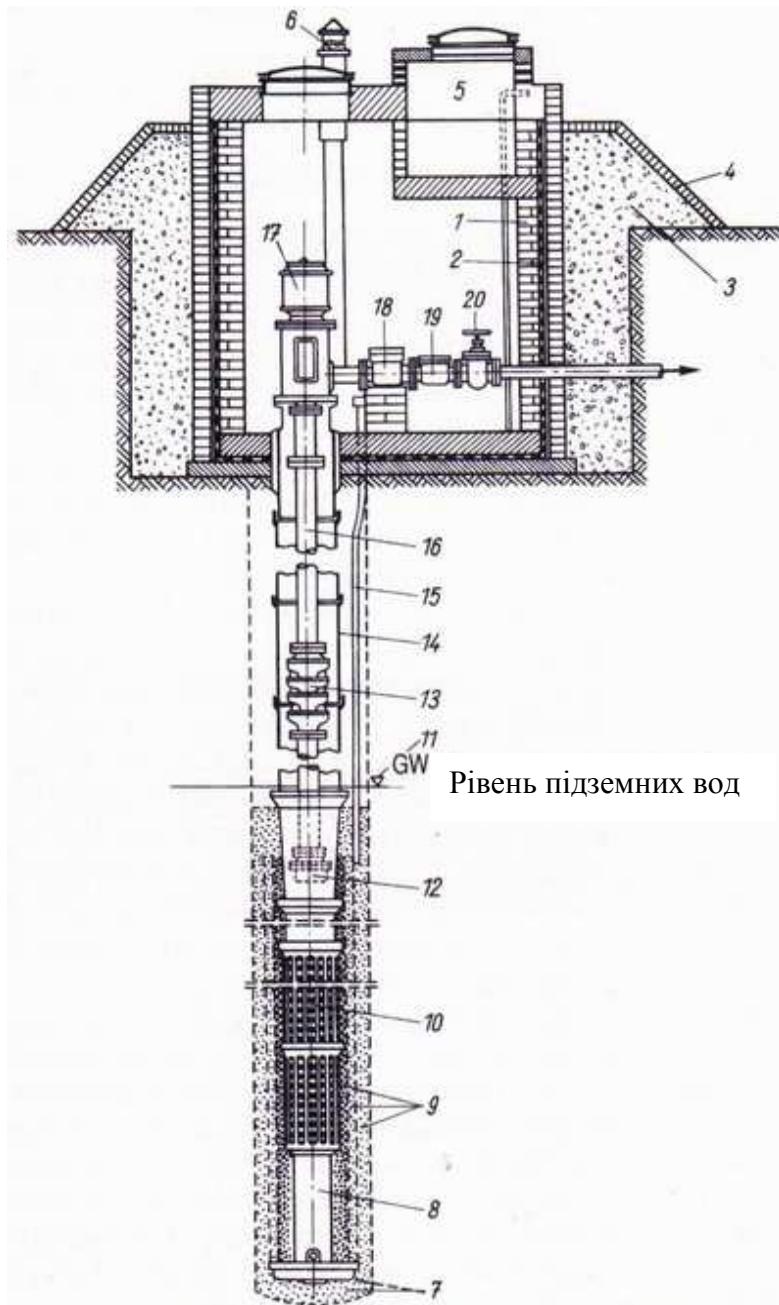


Рисунок 2.15 – Насосна установка першого підйому на свердловині в заглибленій камері:

- | | |
|----------------------------------|---------------------------------------|
| 1 – приміщення насосної станції; | 11 – рівень (дзеркало) підземних вод; |
| 2 – ізоляція; | 12 – усмоктуючий патрубок; |
| 3 – дренажна підсипка ґрунту; | 13 – насос; |
| 4 – дернове покриття; | 14 – обсадна труба; |
| 5 – електрощитова; | 15 – напрямна труба; |
| 6 – вентиляційна труба; | 16 – підйомна труба; |
| 7 – дно свердловини; | 17 – електродвигун; |
| 8 – керамічна труба; | 18 – водомір; |
| 9 – гравійна засипка фільтра; | 19 – зворотний клапан; |
| 10 – керамічна труба фільтра; | 20 – заслонка (шибер) |

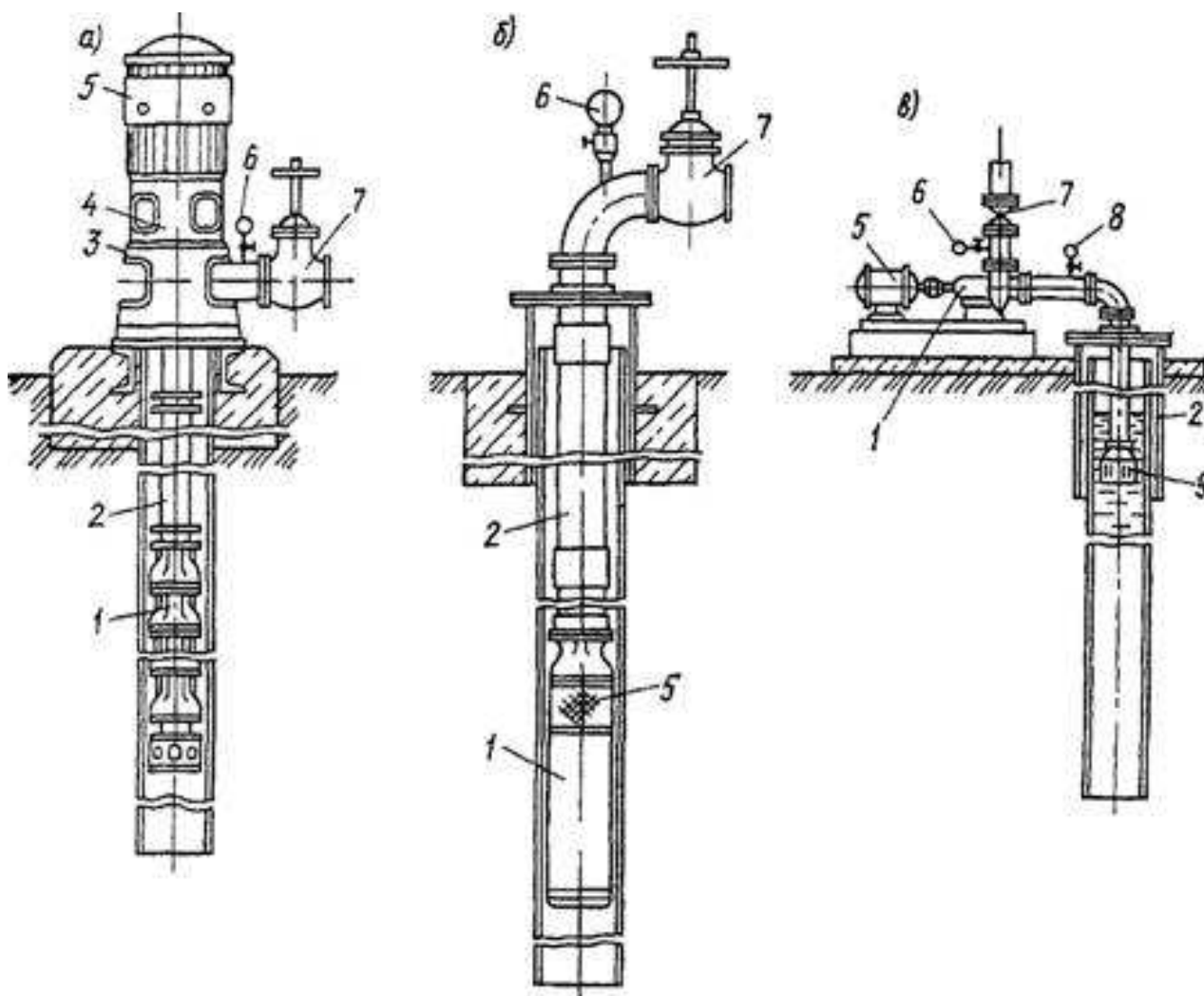


Рисунок 2.16 – Схеми обладнання свердловин насосами

а), б) – насосна установка з трансмісійним валом та зануреним електродвигуном відповідно; в) схема обладнання свердловини горизонтальним відцентровим насосом;

- 1 – насос,
- 2 – водопідйомний трубопровід;
- 3 – опорне коліно;
- 4 – п'ята приводу;
- 5 – електродвигун;
- 6 – манометр;
- 7 – засувка;
- 8 – вакуумметр;
- 9 – приймальний клапан

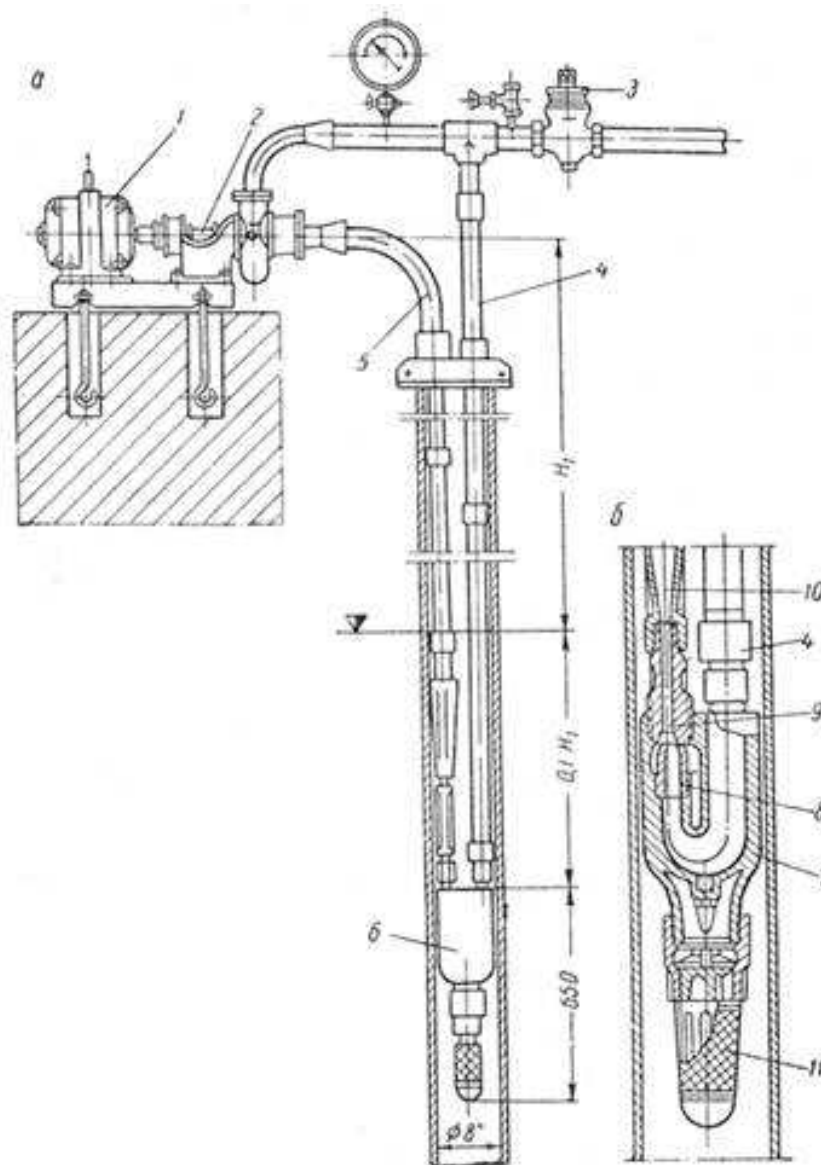


Рисунок 2.17 – Водоструминна установка на свердловині:

а) загальний вигляд;

б) водоструминний насос;

1 – двигун;

2 – насос;

3 – засувка;

4 і 5 – трубопроводи;

6 – водоструминний насос;

7 – корпус;

8 – сопло;

9 – змішувач;

10 – дифузор;

11 – сітка

Водоструминна установка проста за конструкцією та надійна в експлуатації. Всі механізми, що вимагають технічного догляду, перебувають на поверхні землі. Установка може піднімати воду із свердловин глибиною до 100 м, розвиваючи напір над віссю відцентрового насоса до 50 м. Подача її залежить від висоти підняття води і у середньому становить 15...20 м³/год.

2.4 Насосні станції другого підйому

Режими роботи і подача насосних станцій другого підйому.

Економічність роботи станції другого підйому багато в чому залежить від правильності вибору режиму її роботи. Оскільки станція другого підйому подає воду безпосередньо в мережу споживача, режим її роботи буде визначатися режимом водоспоживання і наявністю напірно-регулюючих споруд системи водопостачання [1–4].

На рисунку 2.18 поданий ступінчастий графік водоспоживання, який залежить від коефіцієнта годинної нерівномірності $K_{год}$, та графік роботи насосної станції другого підйому. Якщо в мережі водокористувача немає напірно-регулюючої споруди (вежі), то для забезпечення споживачів водою в години максимального споживання годинну подачу станції необхідно приймати за максимумом. Такий варіант буде неекономічним, тому що тривалість максимального водоспоживання невелика. Подача насосної станції за максимальним значенням годинного водоспоживання розрахункового графіка приймається в тому випадку, якщо максимум споживання має тривалий період і амплітуда його коливання невелика. Такі графіки характерні для великих міст з великим обсягом добового водоспоживання.

Загальну подачу, а отже, і потужність насосної станції можна зменшити, якщо в мережу споживачів під'єднавши водонапірну вежу з регулюючою ємністю.

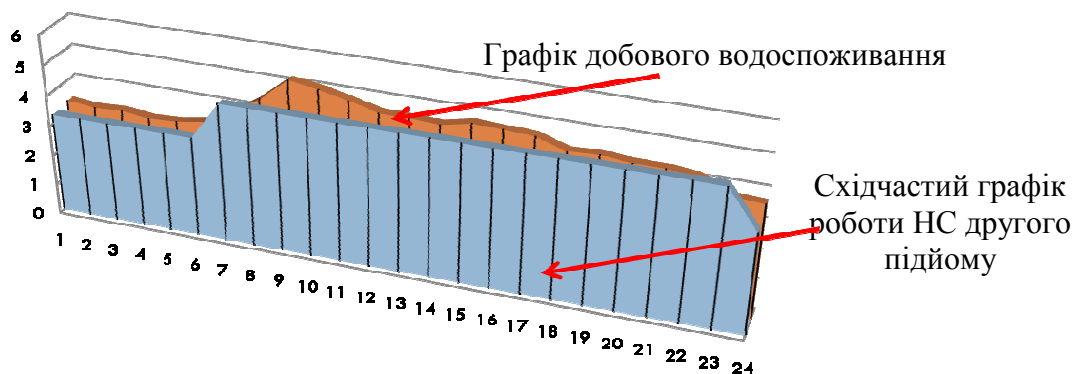


Рисунок 2.18 – Сумісні графіки добового водоспоживання та роботи насосної станції 2-другого підйому

Годинна подача насосів складатиме $Q = 100/24 = 4,17$ % обсягу добового водоспоживання.

У таблиці 2.2 наведено приблизний розподіл витрат води за годинами доби в населених пунктах [26].

Порівняння графіків подачі насосів і водоспоживання доводить, що за період, коли водоспоживання менше подачі, надлишковий обсяг води надходить у бак водонапірної вежі. За час, коли водоспоживання перевищує подачу насосної станції, на додаток до подачі насосів споживач отримує воду від водонапірної вежі. У такий спосіб здійснюється добове регулювання подачі води споживачеві.

Під час рівномірної подачі регулюючий обсяг визначається площею, обмеженою графіком водоспоживання, розташованою під лінією, що характеризує подачу насосів, – заштрихована площа (рис. 2.19). Однак за наявності у системі регулюючої ємності подачу насосної станції не завжди можна призначити рівною середньодобовому водоспоживанню. За наявності великого коефіцієнта нерівномірності або значних обсягів добового водоспоживання регулююча ємність водонапірної вежі може бути надмірно великою. Її будівництво виявиться економічно недоцільним.

Таблиця 2.2 – Приблизний розподіл витрат води за годинами доби в населених пунктах

Години доби	Розподіл витрат за годинами доби, %				
	$K_{\text{год}} = 1,25$	$K_{\text{год}} = 1,35$	$K_{\text{год}} = 1,50$	$K_{\text{год}} = 1,70$	$K_{\text{год}} = 2,0$
0–1	3,35	3,00	1,50	1,00	0,75
1–2	3,25	3,20	1,50	1,00	0,75
2–3	3,30	2,50	1,50	1,00	1,00
3–4	3,20	2,60	1,50	1,00	1,00
4–5	3,25	3,50	2,50	2,00	3,00
5–6	3,40	4,10	3,50	3,00	5,50
6–7	3,85	4,50	4,50	5,00	5,50
7–8	4,45	4,90	5,50	6,50	5,50
8–9	5,20	4,90	6,25	6,50	3,50
9–10	5,05	5,60	6,25	5,50	3,50
10–11	4,85	4,90	6,25	4,50	6,00
11–12	4,60	4,70	6,25	5,50	8,50
12–13	4,60	4,40	5,00	7,00	8,50
13–14	4,55	4,10	5,00	7,00	6,00
14–15	4,75	4,10	5,50	5,50	5,00
15–16	4,70	4,40	6,00	4,50	5,00
16–17	4,65	4,30	6,00	5,00	3,50
17–18	4,35	4,10	5,50	6,50	3,50
18–19	4,40	4,50	5,00	6,50	6,00
19–20	4,30	4,50	4,50	5,00	6,00
20–21	4,30	4,50	4,00	4,50	6,00
21–22	4,20	4,80	3,00	3,00	3,00
22–23	3,75	4,60	2,00	2,00	2,00
23–0	3,70	3,30	1,50	1,00	1,00
Усього	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

Регулюючий об'єм башти визначається найбільшою з окремих площ *a* або *б*, які утворені лінією 1 режиму роботи НС першого підйому та східчастою лінією 2 режиму роботи НС другого підйому.

Для зменшення регулюючої ємності приймають ступінчастий графік подачі насосної станції, таким чином наближаючи його до графіка водоспоживання. Звичайне число ступенів графіка подачі призначають не більше трьох, тому що його збільшення спричиняє збільшення кількості насосів, що знижує економічні показники насосної станції.

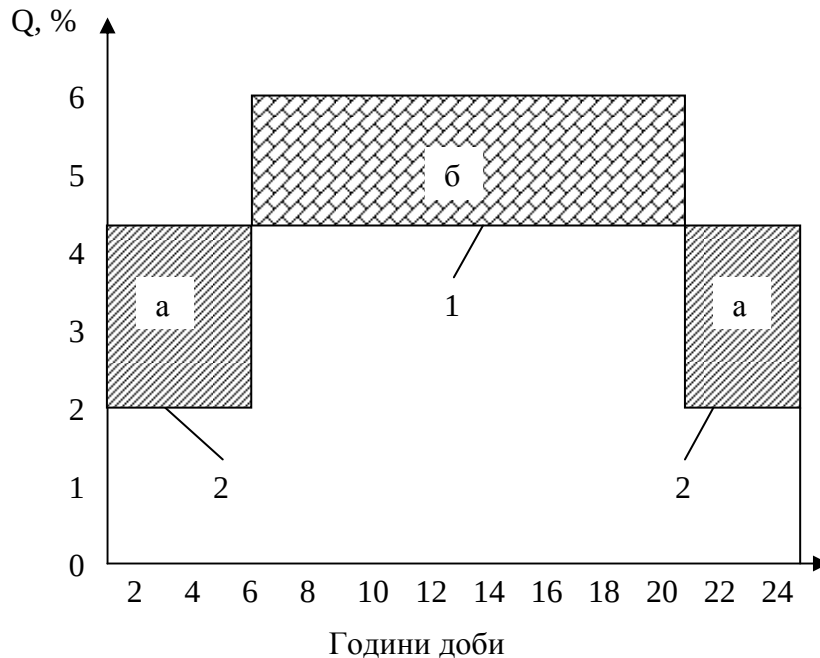


Рисунок 2. 19 – Сумісний графік роботи насосних станцій першого та другого підйому

Розрахунок регулюючої місткості водонапірної вежі під час рівномірної і східчастої роботи насосної станції другого підйому для коефіцієнта годинної нерівномірності водоспоживання 1,35 наведений у таблиці 2.3.

Більш точно регулюючий обсяг підраховується табличним способом. У таблиці 2.3 наведений розрахунок двох варіантів роботи насосної станції другого підйому. Отримання внаслідок порівняння даних граф 2, 3, 4 значення заносять у відповідні графи 5, 6 або 8, 9.

Шляхом додавання (під час надходження води в бак) або вирахування (під час витрати води з бака) значень граф 5, 6 і 8, 9 заповнюються графи 7 і 10, що характеризує наростання або убування регулюючого обсягу води в баці.

Регулюючий обсяг (W_p) визначається як сума абсолютних значень найбільших позитивних і негативних чисел:

а) під час рівномірної подачі насосів

$$W_p = 6,12 + |-0,86| = 6,98\%,$$

б) під час східчастої роботи насосів

$$W_p = 0,1 + |-2,4| = 2,5\%.$$

Регулюючий обсяг під час рівномірної роботи насосної станції становить 8...15 %, а під час східчастої – 2,5...6 % обсягу добового водоспоживання.

Таблиця 2.3 – Розрахунок регулюючої місткості водонапірної вежі

Час доби	Витрата водоспоживання, %	Подача води насосами, %		Рівномірна подача, %			Східчаста подача, %		
		Рівномірна	Східчаста	Надходження в бак	Витрата з бака	Залишок води в баку	Надходження в бак	Витрата з бака	Залишок води в баку
0–1	3	4,17	2,5	1,17	–	1,17	–	0,5	–0,5
1–2	3,2	4,17	2,5	0,97	–	2,14	–	0,7	–1,2
2–3	2,5	4,17	2,5	1,67	–	3,81	–	–	–1,2
3–4	2,6	4,17	2,5	1,57	–	5,38	–	0,1	–1,3
4–5	3,5	4,17	4,5	0,67	–	6,05	1,0	–	–0,3
5–6	4,1	4,17	4,5	0,07	–	6,12	0,4	–	0,1
6–7	4,5	4,17	4,5	–	0,33	5,79	–	–	0,1
7–8	4,9	4,17	4,5	–	0,73	5,06	–	0,4	–0,3
8–9	4,9	4,17	4,5	–	0,73	4,33	–	0,4	–0,7
9–10	5,6	4,17	4,5	–	1,43	2,9	–	1,1	–1,8
10–11	4,9	4,17	4,5	–	0,73	2,17	–	0,4	–2,2
11–12	4,7	4,17	4,5	–	0,53	1,64	–	0,2	–2,4
12–13	4,7	4,17	4,5	–	0,23	1,41	0,1	–	–2,3
13–14	4,1	4,17	4,5	0,07	–	1,48	0,4	–	–1,9
14–15	4,1	4,17	4,5	0,07	–	1,55	0,4	–	–1,5
15–16	4,4	4,17	4,5	–	0,23	1,32	0,1	–	–1,4
16–17	4,3	4,16	4,5	–	0,14	1,18	0,2	–	–1,2
17–18	4,1	4,16	4,5	0,06	–	1,24	0,4	–	–0,8
18–19	4,5	4,16	4,5	–	0,34	0,90	–	–	–0,8
19–20	4,5	4,16	4,5	–	0,34	0,56	–	–	–0,8
20–21	4,5	4,16	4,5	–	0,34	0,22	–	–	–0,8
21–22	4,8	4,16	4,5	–	0,64	–0,42	–	0,3	–1,1
22–23	4,6	4,16	4,5	–	0,44	–0,86	–	0,1	–1,2
23–24	3,3	4,16	4,5	0,86	–	0,00	1,2	–	0,00
Разом	100	100	100	7,18	7,18		4,2	4,2	

Іноді для визначення регулюючого обсягу користуються інтегральними (сумарними) графіками подачі і водоспоживання (рис. 2.20). Вони становлять собою залежності наростання подачі або водоспоживання за добу. Таким чином, остання ордината, що відповідає 24 год, у масштабі графіка буде визначати добовий обсяг водоспоживання (дорівнює добовій подачі насосної станції).

Регулюючий обсяг визначається відрізком по вертикалі між дотичними, проведеними до кривої водоспоживання паралельно лінії подачі насосів, і самою лінією подачі.

Графічний спосіб визначення обсягу регулюючої ємності не забезпечує високої точності і може бути рекомендований для випадків водоспоживання з відносно великим коефіцієнтом годинної нерівномірності [2, 3].

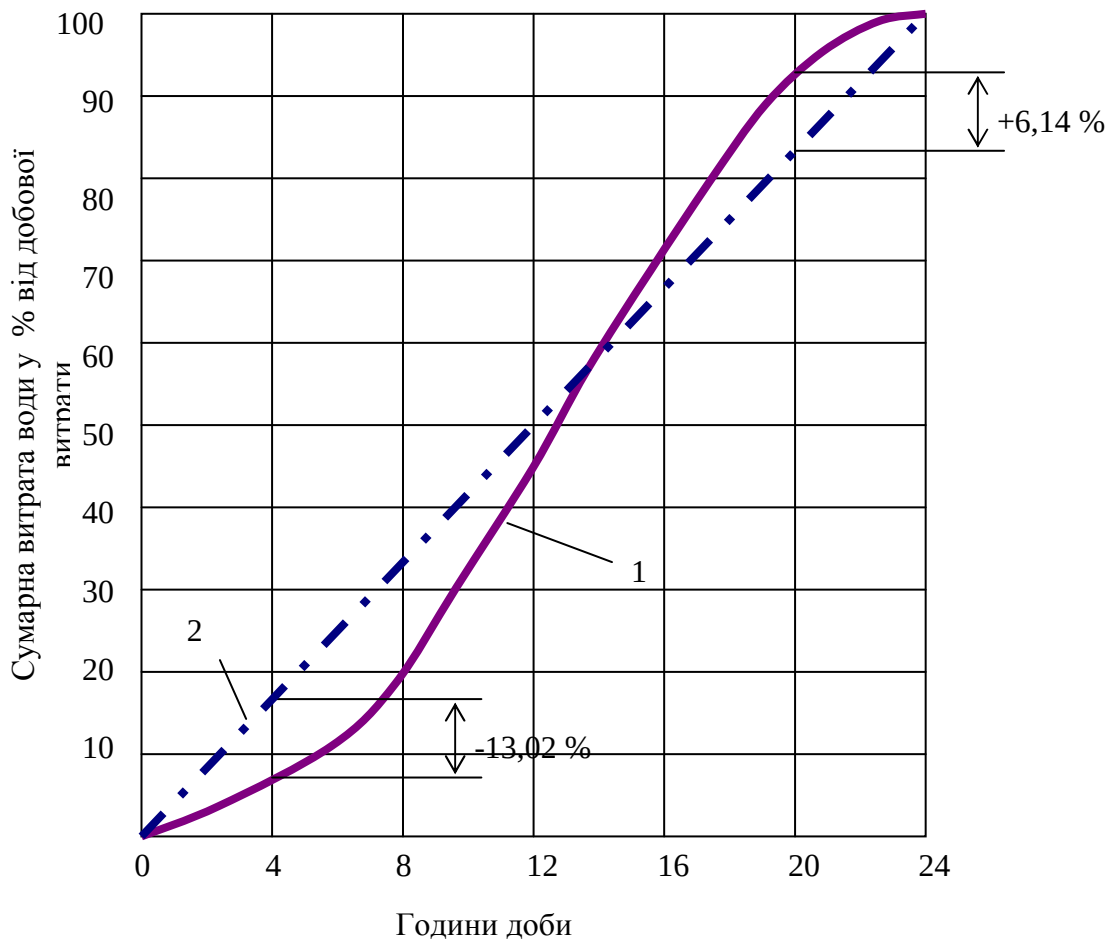


Рисунок 2.20 – Інтегральний графік водоспоживання (лінія 1) та роботи насосів НС другого підйому (лінія 2)

За відсутності графіків водоспоживання й подачі насосної станції регулюючий обсяг визначають за формулою:

$$W_p = Q_{\max}^{\text{доб}} \cdot \left[(1 - K_{\text{год}}) + (K_{\text{год}} - 1) \cdot \left(\frac{K_n}{K_{\text{год}}} \right)^{\frac{K_{\text{год}}}{K_{\text{год}} - 1}} \right], \quad (2.8)$$

де $Q_{\max}^{\text{доб}}$ – витрата води за добу максимального споживання, м³/добу;

$K_{\text{год}}$ – коефіцієнт годинної нерівномірності водоспоживання або відбору води з регулюючої ємності:

$$K_{\text{год}} = q_{\text{год max}} / q_{\text{год. ср}},$$

де $q_{\text{год max}}$ – максимальна годинна витрата води за добу максимального водоспоживання, м³/год.;

$q_{\text{год ср}}$ – середня годинна витрата води за добу максимального водоспоживання, м³/год.;

K_n – коефіцієнт годинної нерівномірності подачі води насосною станцією у регулюючу ємність:

$$K_n = q_{n \max} / q_{\text{год ср}},$$

де $q_{n \max}$ – максимальна годинна подача насосної станції в розрахункову добу, $\text{м}^3/\text{год}$.

Обладнання насосних станцій відцентровими насосами, що мають властивість саморегулюватися, дає змогу використовувати системи водопостачання без регулюючих ємностей за будь-якого значення коефіцієнта годинної нерівномірності. Але застосування систем без вежі економічно доцільне тільки за наявності відносно невеликих коефіцієнтів годинної нерівномірності водоспоживання, інакше внаслідок необхідності подавати воду в години малих витрат за напорів, що значно перевищують необхідні, витрати електроенергії зростають.

Остаточно вибір варіанта подачі насосної станції другого підйому, а також необхідність під'єднання до системи регулюючої ємності встановлюють на підставі порівняння техніко-економічних показників різних варіантів.

Визначення напору насосних станцій другого підйому. Напір насосної станції другого підйому визначають за ситуаційним планом і схемою вертикального планування споруд системи (від резервуарів чистої води до точки, що диктує). Він залежить від розрахункового вільного напору точки, що диктує, від наявності й місця розташування водонапірної вежі в системі та від режиму роботи системи. Напір станції другого підйому може бути визначений тільки після розрахунку водогінної мережі, визначення висоти водонапірної вежі й місця її розташування [1].

На рисунку 2.21 подано загальний ситуаційний план розміщення водопровідних споруд другого підйому. Для визначення необхідного напору насосної станції визначають найдовший з можливих шляхів руху води від резервуарів чистої води (точка P) до точки B , що диктує (на плані він позначений жирною лінією.) Весь шлях $P-B$ розбивають на характерні ділянки для визначення втрат напору на них.

Потрібний напір насосів у загальному випадку для відкритих систем підраховують за формулою

$$H = H^e + \Sigma h = H_e + h_{y.в} + h_{н.с} + h_{в.м} + h_{н.в} + h_m, \quad (2.9)$$

де H_e – геометрична висота підйому води, м;

$h_{y.в}$ – втрати напору в усмоктувальному водоводі (на ділянці $P-K_e$), м;

$h_{н.с}$ – втрати напору в усмоктувальних і напірних комунікаціях усередині насосної станції, м;

$h_{в.м}$ – втрати напору у водомірі, м;

$h_{н.в}$ – втрати напору у нагнітальному водоводі (на ділянці $B-K$), м;

h_m – втрати напору на одному з напрямків (з найбільшими втратами) мережі, м.

Геометричну висоту підйому води визначають за схемою висотного планування споруд. Втрати напору в усмоктувальному й нагнітальному

водоводах з достатнім ступенем точності можна визначити, користуючись таблицями Ф. А. Шевельова [6], за формулами:

$$h_{y. \epsilon} = (1,1 \dots 1,15) 1000 i \cdot l_{y\epsilon};$$

$$h_{н. \epsilon} = (1,05 \dots 1,1) 1000 i \cdot l_{н\epsilon}.$$

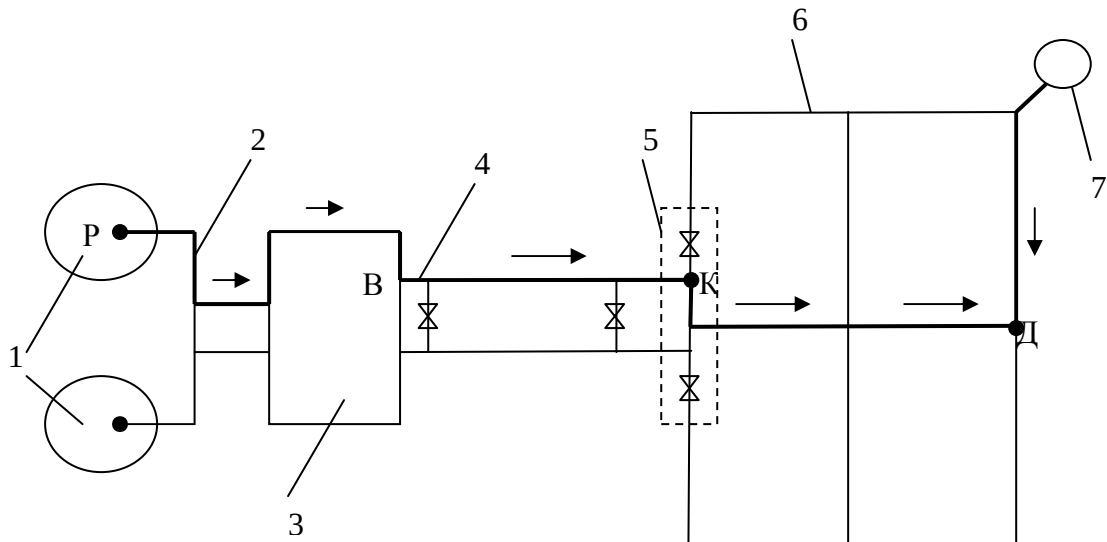


Рисунок 2.21 – План розміщення споруд другого підйому:

- 1 – резервуари чистої води;
- 2 – усмоктувальний водовід (зовнішній);
- 3 – насосна станція другого підйому;
- 4 – нагнітальний водовід;
- 5 – камера підключення водовода до мережі;
- 6 – мережа магістральних трубопроводів;
- 7 – водонапірна вежа

У круглих дужках зазначені поправочні коефіцієнти, що враховують місцеві втрати на розрахункових ділянках. Втрати напору в комунікаціях насосної станції ($h_{нс}$) складаються здебільшого із втрат у місцевих опорах, які для обраного розрахункового напрямку визначають окремо, а потім підсумовують. Цей розрахунок зводиться в таблицю (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Розрахунок втрат напору в комунікаціях насосної станції

Найменування вузла місцевого опору	Кількість однотипних вузлів	d_y , мм	Q , л/с	ξ	v , м/с	$\frac{v^2}{2g}$, м	$h_m = \xi \frac{v^2}{2g}$, м
Усмоктувальні комунікації							
Нагнітальні комунікації							

Варто мати на увазі, що втрати в комунікаціях насосних станцій можуть бути розраховані в тому випадку, коли відома кількість підібраних насосів і спроектована схема перемикання усмоктувальних і нагнітальних трубопроводів. Тому розрахунок втрат h_{nc} за розглянутою методикою може бути використаний як перевірочний. У попередніх розрахунках напору насосних станцій другого підйому втрати у внутрішніх комунікаціях приймають орієнтовно на усмоктувальній ділянці $h_e = (0,5...1)$ м, на нагнітальній – $h_{наг} = 2...3$ м.

Втрати напору на ділянці мережі (h_m) враховують у тому випадку, якщо водонапірно-регулюючі споруди (вежа, РЧВ тощо) виконують роль контррезервуарів або в системі взагалі відсутні напірно-регулюючі споруди. Ці втрати приймають рівними втратам на головному напрямку від точки K до точки D , що диктує, (рис. 2.21) (під час режиму максимального водоспоживання) або до водомірної башти (під час режиму подачі максимального транзиту води у вежу).

На рисунку 2.22 подана схема висотного планування споруд системи з вежею, розташованою до споживача. У цьому випадку для визначення напору господарських насосів розглядається режим, під час якого частина води, що подається насосами, надходить у вежу [27, 28].

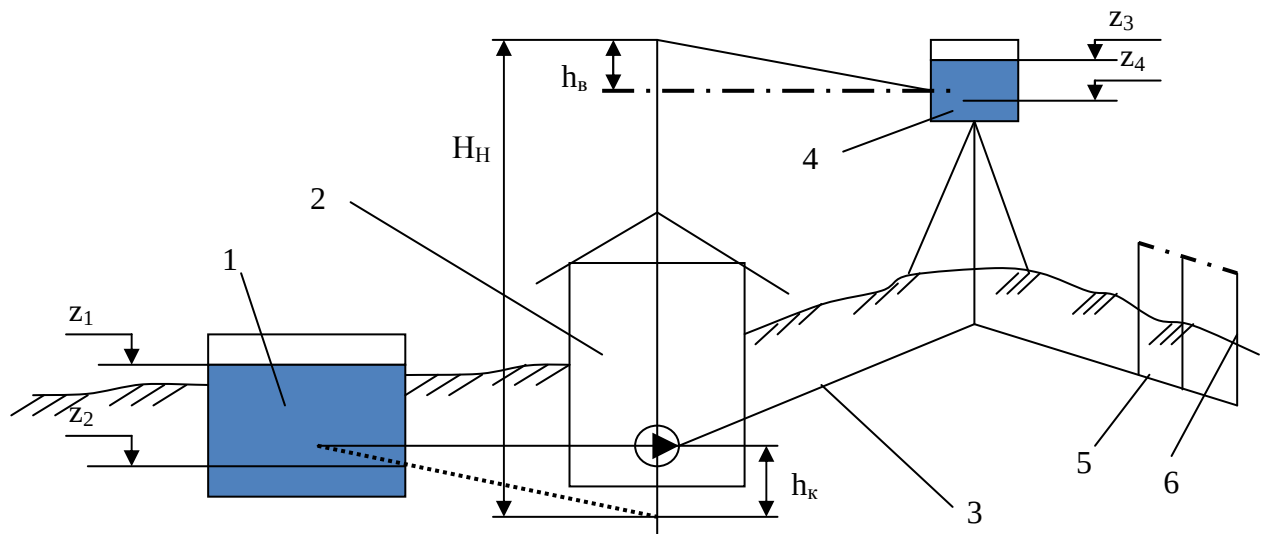


Рисунок 2.22 – Схема висотного планування споруд другого підйому з вежею на початку мережі:

- 1 – резервуар чистої води;
- 2 – насосна станція другого підйому;
- 3 – нагнітальний водовід;
- 4 – водонапірна вежа;
- 5 – водогінна мережа;
- 6 – вільні напори

Необхідний напір у цьому випадку визначається за формулою:

$$H = H_{\Gamma} + \Sigma h = H_{\Gamma_{yc}} + z_{\delta} + H_e + H_p + \Sigma h_y + \Sigma h_{наг}, \quad (2.10)$$

де $H_{\Gamma_{yc}}$ – розрахункова геометрична висота усмоктування, м;

z_6 – різниця геодезичних позначок землі біля вежі та осі насоса, м;

H_6 – висота вежі, м;

H_p – висота резервуара (різниця позначок максимального рівня води і дна резервуара), м;

Σh_y – сумарні втрати напору в зовнішній і внутрішній усмоктувальній комунікаціях, м;

$\Sigma h_{\text{нар}}$ – сумарні втрати напору в нагнітальних комунікаціях (від насоса до вежі), м.

Якщо вежа розташована в протилежному від насосної станції кінці мережі (за споживачем), для визначення розрахункового напору необхідно розглядати два режими: максимального водоспоживання й максимального транзиту води у вежу. П'єзометричні лінії за цих режимів подані на схемі висотного планування (рис. 2.23).

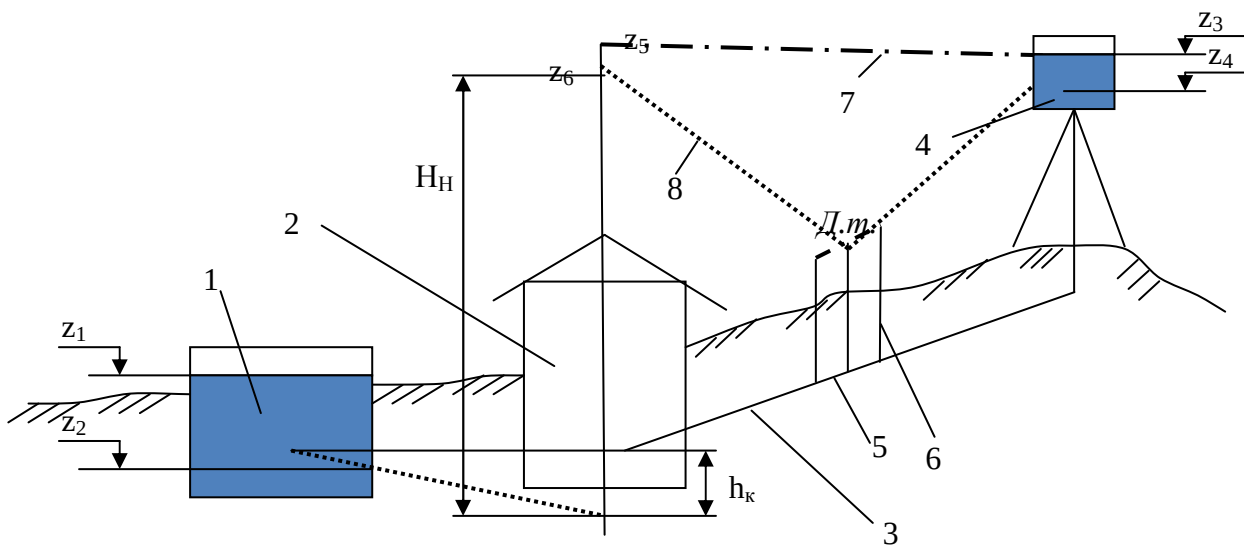


Рисунок 2.23 – Схема висотного планування споруд другого підйому системи з контррезервуаром:

1 – резервуар чистої води;

2 – насосна станція другого підйому;

3 – водовід;

4 – водонапірна вежа;

5 – мережа;

6 – вільні напори у мережі;

7 – п'єзометрична лінія на випадок максимального транзиту у вежу;

8 – п'єзометрична лінія на випадок максимального водоспоживання

Напір насосів у першому випадку буде визначатися таким виразом:

$$H = H_{\Gamma} + \Sigma h = H_{\Gamma, \text{yc}} + z_{\partial} + H_6 + \Sigma h_y + \Sigma h_{\text{нар}}, \quad (2.11)$$

де z_{∂} – різниця геодезичних позначок точки, що диктує, і осі насоса, м;

H_6 – вільний господарський напір у точці, що диктує (визначають за поверховістю забудови), м.

У другому випадку напір насосів буде таким:

$$H_{\text{тр}} = H_{\Gamma, \text{тр}} + \Sigma h = H_{\Gamma, \text{yc}} + z_{\partial} + H_6 + H_p + \Sigma h_{\text{yc}} + \Sigma h_{\text{нар, тр}}. \quad (2.12)$$

Залежно від конкретних умов найбільший з напорів H або $H_{тр}$ приймається в якості розрахункового для підбору господарських насосів другого підйому.

Вибір кількості основних агрегатів і резервного устаткування. Під час вибору кількості основних агрегатів другого підйому необхідно, як і на станціях першого підйому, прагнути до збільшення їхньої одиничної потужності, тому що це підвищує економічність будівництва й експлуатації насосних станцій. Однак якщо станція другого підйому працює за графіком, кількість агрегатів має відповідати умові можливості відключення одного або декількох насосів у періоди невеликого водоспоживання. Кожен насос повинен працювати з максимальним ККД, що уточнюється на підставі аналізу спільної роботи насосів і водогінної мережі під час роботи у різних режимах водоспоживання.

Під час підбору насосного устаткування керуються такими головними вимогами:

- обрані насоси мають забезпечувати розрахункові напір і подачу, працювати в області значень максимального ККД;
- обрані насоси мають бути однотипними (бажано), однак, якщо більш економічна робота має місце під час роботи різнотипних насосів, доцільно встановлювати різнотипні агрегати; їхнє виробництво повинне бути серійним;
- насоси повинні мати найбільший коефіцієнт швидкохідності, тому що одночасно зменшуються габарити насосів, а отже, і обсяг будівлі станції.

На станціях другого підйому резерв насосного устаткування приймається залежно від кількості основних насосів і категорії надійності (табл. 2.1). Якщо на станції в одній групі агрегатів установлені насоси з різними характеристиками, кількість резервних агрегатів приймають для насосів з більшою подачею, як зазначено в табл. 2.1, а резервний насос меншої подачі необхідно зберігати на складі. Резервні насоси повинні бути такої ж марки, як і основні.

Протипожежні та спеціальні насоси станцій другого підйому. Насосні станції другого підйому повинні забезпечувати в будь-якій точці водогінної мережі розрахункову протипожежну витрату води в момент максимального водоспоживання. Витрату води на пожежогасіння підраховують за нормою витрати на одну пожежу й розрахункову кількість одночасних пожеж. Тривалість гасіння пожежі приймається рівною 3 год. Напір протипожежних насосів залежить від типу протипожежних мереж. Останні за способом гасіння пожежі поділяються на мережі низького й високого тиску [2].

Протипожежна мережа *низького тиску* повинна забезпечувати в розрахункових точках гасіння пожежі необхідну протипожежну витрату води з напором не менше 10 м. Такий напір приймається для того, щоб уникнути можливості утворення в мережі вакуумметричного тиску під час підключення до гідрантів мобільних пожежних насосів, які створюють напір для утворення струменів необхідної висоти.

Мережа протипожежного водопроводу *високого тиску* повинна забезпечувати в розрахунковій точці гасіння пожежі як необхідну витрату води,

так і напір для отримання з гідрантів струменів з компактною ділянкою висотою не менше 10 м.

Методика визначення напору для пожежних насосів така ж, як і для господарських: для розрахункової точки гасіння пожежі призначають необхідний протипожежний напір, що визначає геометричну висоту підйому води ($H_{г.п}$).

Додаючи до $H_{г.п}$ відповідного протипожежного режиму роботи втрати, визначають необхідний напір ($H_{п}$). Якщо протипожежний напір (в об'єднаній мережі господарсько-питного й протипожежного водопроводу) менший або дорівнює господарському напору, то, з урахуванням можливості зниження під час пожежі геометричної висоти підйому води, на підставі аналізу роботи господарських насосів при $H_{г.п}$ встановлюють можливість забезпечення ними розрахункової витрати води. Якщо витрата води не забезпечується, підбирають додаткові пожежні насоси (один або кілька) з напором, який дорівнює господарському.

У випадку, коли протипожежний напір більший за напір господарських насосів, необхідно встановлювати додатково окремий пожежний насос або групу насосів, що забезпечують протипожежний напір з протипожежною і максимальною господарською витратами води.

Часто на станціях другого підйому використовують спеціальні насоси, призначені для промивання фільтрів очисної станції. Подачу промивних насосів визначають залежно від розмірів і інтенсивності промивання фільтрів, а напір – за схемою вертикального планування споруд із урахуванням опору фільтра під час промивання.

В окремих випадках у заглиблених і наполовину заглиблених насосних станціях передбачають установку спеціальних насосів для відкачування води під час можливих аварій. Подачу таких насосів визначають із умови відкачування з машинного залу води за її шару 0,5 м на час не більше 2 год. До того ж передбачають один резервний агрегат.

Розміщення насосного устаткування на станціях другого підйому. Насосні станції другого підйому в більшості випадків виконуються прямокутними у плані й обладнуються горизонтальними насосами типу Д або К. Виняток становлять досить великі станції, на яких встановлюються насоси типу В. Тому в практиці проектування цих станцій здебільшого зустрічається таке розміщення насосних агрегатів: однорядне із фронтальним підведенням і відведенням води (рис. 2.24, а); однорядне з бічним і фронтальним відведенням води (рис. 2.24, б); однорядне з одnobічним розташуванням усмоктувального й нагнітального колекторів (рис. 2.24, в); двохране шахове із фронтальним підведенням і відведенням води (рис. 2.24, г); дворядне симетричне з бічним підведенням і відведенням води (рис. 2.24, д) [1–3].

Вид розміщення визначається за типом насосів, розташуванням насосної станції щодо резервуарів чистої води та інших споруд, зручністю компоновання усмоктувальних і нагнітальних трубопроводів з найменшою кількістю їхніх поворотів.

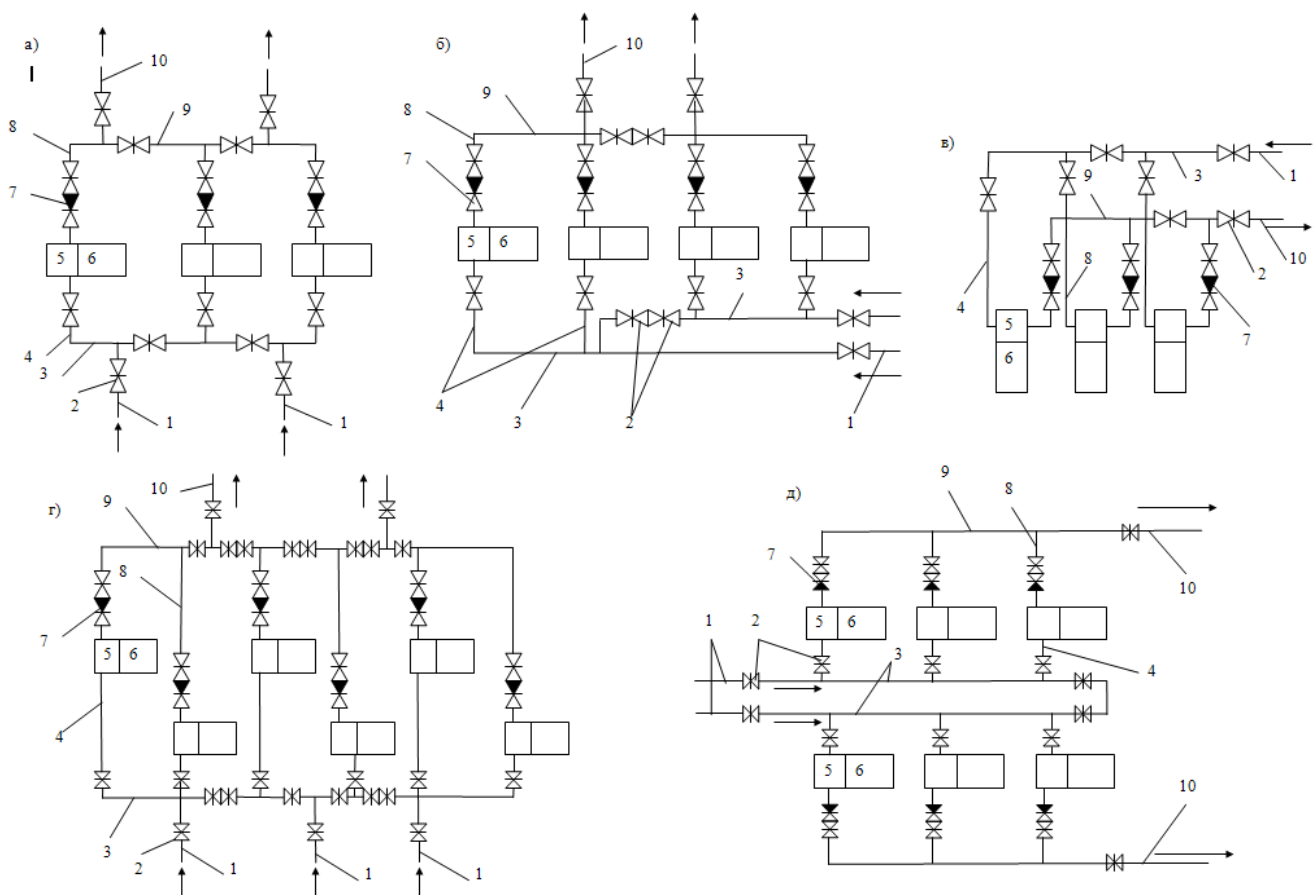


Рисунок 2.24 – Схеми розміщення насосних агрегатів на станціях другого підйому і перемикання трубопроводів:

а) однорядне із фронтальним підведенням і відведенням води;

б) однорядне з бічним і фронтальним відведенням води;

в) однорядне з одnobічним розташуванням усмоктувального й нагнітального колекторів;

г) двохрандне шахове із фронтальним підведенням і відведенням води; д) двохрандне симетричне з бічним підведенням і відведенням води;

1 – усмоктувальна труба;

2 – засувка;

3 – усмоктувальний колектор;

4 – усмоктувальна підводка;

5 – насос;

6 – електродвигун;

7 – зворотний клапан;

8 – нагнітальна підводка;

9 – нагнітальний колектор;

10 – нагнітальний водовід

За невеликої кількості насосів типу Д (4–5) доцільно приймати однорядне їхнє розміщення, тому що в цьому разі ширина будівлі виходить найменшою. За відносно великої кількості агрегатів (більше 5) приймається двохрандне, шахове або симетричне розміщення насосів, що дає змогу скоротити довжину споруди. Під час використання насосів консольного типу більш доцільно розміщувати агрегати в один ряд, перпендикулярно до поздовжньої осі споруди, довжина якої при цьому також скорочується. Однорядне розміщення перпендикулярно до поздовжньої осі станції використовують і для насосів типу Д за відносно великої їх кількості, у випадку одnobічного розміщення усмоктувальних і напірного колекторів (рис. 2.24, в).

Під час проектування насосних станцій другого підйому можуть зустрічатися й інші види розміщення агрегатів різних груп (двохрандне,

паралельне поздовжнє або поперечне щодо осі будівлі; осі агрегатів можуть бути розміщені під кутом до поздовжньої осі будівлі; комбіноване).

У схемі вертикального планування споруд насоси повинні розміщуватися під заливом від розрахункового рівня води в ємності: пожежного запасу на одну пожежу; середнього рівня пожежного запасу на дві й більше пожежі; середнього рівня за відсутності пожежного запасу [17].

Якщо насоси розміщені не під заливом, необхідно передбачити систему заливу насосів перед їхнім запуском.

Проектування усмоктувальних і напірних труб та схем їхніх перемикачів на станціях другого підйому. Усмоктувальні та напірні труби станцій другого підйому виконують ті ж функції, що й на станціях першого підйому, і під час проектування щодо них висуваються такі ж вимоги. Головними вимогами щодо усмоктувальних труб, що забезпечують нормальний запуск і роботу насосів, є повна їхня повітронепрониклість і виключення можливості утворення повітряних «мішків». Останнє досягається за рахунок монтажу усмоктувальної лінії таким чином, щоб верхня утворююча труби за всією довжиною мала ухил від насоса не менше $i = 0,005$. Під час з'єднання усмоктувальних труб різних діаметрів необхідно використовувати косі (ексцентричні) переходи [1–3].

Усмоктувальні та напірні труби в межах насосної станції виконують сталевими і з'єднують зварюванням. Фланцеві з'єднання використовують тільки для підключення до насосів і арматури. Діаметри напірних трубопроводів визначають за розрахунковими витратами води й економічними швидкостями потоку:

$$d = \sqrt{4Q/(\pi v_e)}, \quad (2.13)$$

де v_e – економічна швидкість, м/с.

Діаметри колекторів приймають рівними діаметрам відповідних усмоктувальних і нагнітальних водоводів. Якщо до колекторів під'єднується відносно багато насосів, їх доцільно виконувати зі змінним діаметром, зменшуючи його до кінцевих ділянок.

Укладання усмоктувальних і напірних трубопроводів усередині станції проводиться по підлозі на підставках із перехідними містками над ними. В окремих випадках за сприятливих гідрогеологічних умов і якщо це не спричиняє значного подорожчання будівництва, допускається укладання труб в каналах. Габарити каналу встановлюються залежно від діаметра труб (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Розміри каналів під труби

Діаметр труби, d , мм	Глибина каналу, мм	Ширина каналу, мм	Висота підставки, мм
До 400	$d + 400$	$d + 600$	150
500 і більше	$d + 600$	$d + 800$	250

У місцях установлення арматури розміри каналу відповідно збільшуються.

Іноді на станціях другого підйому для розміщення усмоктувальних і напірних трубопроводів великого діаметра (800 мм і більше) влаштовуються спеціальні підвальні приміщення.

На напірній лінії кожного насоса у всіх випадках встановлюють запірну арматуру й зворотні клапани (між насосом і засувкою). За необхідності використовують монтажні вставки, які розміщують між зворотними клапанами та запірною арматурою. На усмоктувальних лініях запірну арматуру встановлюють у тому випадку, якщо насоси перебувають під заливом або підключені до загального усмоктувального колектора.

На напірних трубопроводах також встановлюють вимірювальну (водоміри) та запобіжну (гасителі енергії гідравлічного удару, клапани) арматуру.

Для забезпечення надійності роботи насосної станції на усмоктувальних і напірних трубопроводах встановлюють таку кількість запірної арматури, щоб можна було здійснювати ремонт або заміну будь-якого насоса, зворотного клапана або основної засувки.

Під час проектування схем перемикання усмоктувальних і напірних трубопроводів, крім зазначених вище умов, необхідно керуватися такими вимогами:

- 1) забезпечувати подачу води будь-яким насосом у будь-який трубопровід;
- 2) передбачати можливість швидкого оперування засувками під час аварії;
- 3) забезпечувати вільний доступ до всіх засувок для їхнього огляду й ремонту.

Будівлі насосних станцій другого підйому. Будівлі насосних станцій другого підйому найчастіше бувають наземного або напівзаглибленого (до 5 м) типу, рідше глибокого (шахтні).

Будівлі наземних станцій становлять собою споруди промислово-цехового типу. Фундаменти будівель стрічкового типу виконують зі збірних залізобетонних елементів. Фундаменти під насоси роблять незалежними (вільними) та монолітними. Будівлі виконують переважно каркасного типу, зі збірних залізобетонних конструкцій, рідше, за відповідного обґрунтування, – цегельні. Прогони будинку мають розміри 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 м за кроку колон 6, 12 м. Довжину безкаркасних будівель приймають кратною 1,5 м. Покриття збірної конструкції роблять із залізобетонних плит з наступним утепленням й укладанням декількох шарів (2–3 шари) руберойду на бітумній мастиці.

Споруди заглибленого типу складаються із двох частин: підземної та верхньої будівлі. Захисні конструкції підземної частини одночасно є фундаментом для верхньої будівлі. Підземну частину виконують зі збірних залізобетонних блоків, рідше – у вигляді монолітної конструкції. Позначку верху підземної частини виводять над рівнем поверхні землі на 0,3–0,5 м. За довжини підземної частини до 9 м розміри в плані прямокутних споруд приймають кратними 1,5 м, а для великих насосних станцій – 3 м. За наявності ґрунтових вод, із зовнішньої сторони підземних конструкцій проводять гідроізоляцію. У випадку, якщо рівень ґрунтових вод вище підлоги машинного залу, дно підземної частини виконують у вигляді суцільної залізобетонної монолітної плити. Фундаменти під насоси становлять собою одне ціле з плитою.

Розміри споруд у плані залежать від розмірів основного й допоміжного обладнання, з урахуванням прийнятого компонування устаткування та

трубопроводних комунікацій. До того ж необхідно дотримуватися вимог [17], що регламентують відстані між окремими елементами. Розміри арматур і всіх монтажних елементів наводяться в довідковій літературі [19]. Під час проектування плану насосної станції необхідно передбачити ремонтний майданчик, який розміщують на рівні поверхні землі в торці будівлі на підлозі машинного залу або на конструкціях балконного типу. Розміри ремонтного майданчика визначають за умовою розміщення найбільшого з агрегатів, за наявності вільного проходу біля нього шириною не менше 1 м. Необхідно також враховувати максимальне наближення така вантажопідйомного механізму. Підлогу машинного залу виконують із ухилом у бік колодязя для збору дренажних вод.

Розміри верхньої будівлі споруд визначаються з умов експлуатації насосної станції; безпечного виробництва монтажних і ремонтних робіт, з використанням передбачених на станції вантажопідйомних механізмів. Будівельна висота споруд визначається як сума розмірів частин будівлі, устаткування й механізмів, що забезпечують демонтаж встановленого обладнання.

Рівень підлоги машинного залу встановлюється залежно від розрахункової позначки рівня води в резервуарах чистої води (РЧВ), від розташування осі насоса щодо розрахункового рівня в РЧВ і від конструкції усмоктувальної лінії. Будівельну висоту верхньої наземної частини будинку визначають за формулою:

$$H_{\text{буд}} = h + h_1 + h_2 + h_c + h_{\text{вант}} + h_{\delta} + h_{\text{тр}}, \quad (2.14)$$

де h – монтажний запас, приймають 0,1–0,2 м;

h_1 – висота кранового устаткування (від верхньої його точки до голівки підкранової рейки);

h_2 – мінімальна довжина повністю утягненого вантажного троса;

h_c – висота строп (0,5–1 м);

$h_{\text{вант}}$ – висота вантажу, що транспортується;

h_{δ} – розмір, що залежить від типу будівлі, приймається конструктивно, але не може бути менше 0,5 м;

$h_{\text{тр}}$ – висота вантажної платформи транспорту.

Визначений за формулою (2.14) розмір $H_{\text{буд}}$ округляють до стандартного значення (м): 3,0; 3,6; 4,2; 4,8; 5,4; 6,0; 7,2; 8,4; 9,6; 10,8; 12,6; 14,4; 16,2; 18,0.

Висота верхньої будівлі та приміщень, не обладнаних стаціонарними підйомно-транспортними механізмами, повинна бути не менше 3 м.

Машинне приміщення повинне мати гарне природне освітлення. У зв'язку з цим загальна площа віконних прорізів повинна становити не менше 12,5 % від площі підлоги. Розміри вікон такі: ширина – 300 см у разі висоти кожної секції 120 або 180 см. У високих будинках вікна розміщують у два ряди – вище й нижче підкранових балок. Ширина вікон у допоміжних приміщеннях може бути 90, 120, 150 см. У машинному залі необхідно передбачити ворота для підвезення обладнання на монтажний майданчик. Розміри воріт залежать від максимальних габаритів устаткування й транспортних засобів, що доставляють це обладнання: 3×3 м; 3,6×3,6; 4×3; 4×4,2; 4,8×5,4; 4,7×5,6 м. Ворота повинні бути утеплені. У машинному залі, як і в інших приміщеннях,

передбачається необхідна кількість дверей таких розмірів: висота – 240 см, у разі ширини 100, 150, 200 см.

У спорудах насосної станції, крім машинного залу, передбачається ряд допоміжних приміщень: майстерні, диспетчерська, адміністративні кімнати, лабораторії, трансформаторна підстанція тощо. Розміри цих приміщень визначають залежно від потужності насосної станції. Тип споруди насосної станції остаточно обирають на підставі порівняння показників техніко-економічних варіантів.

Приклади насосних станцій другого підйому. Водопровідна насосна станція другого підйому (рис. 2.25) обладнана насосами: для господарсько-питних цілей – Д 630–90 (3 шт. (2 робочих + 1 резервний) для першого ступеня та 3 шт. (2 робочих + 1 резервний) для другого ступеня), насосами для протипожежних цілей Д 1600–90. Прийняте дворядне шахове розміщення агрегатів. Насоси встановлюються під заливом і їхній пуск проводять на закриті засувки з напірної сторони. Кожна група насосів обладнана індивідуальною усмоктувальною трубою: для господарсько-питних насосів дві всмоктуючі лінії та одна – для протипожежних насосів. Напірні трубопроводи об'єднані загальним колектором.

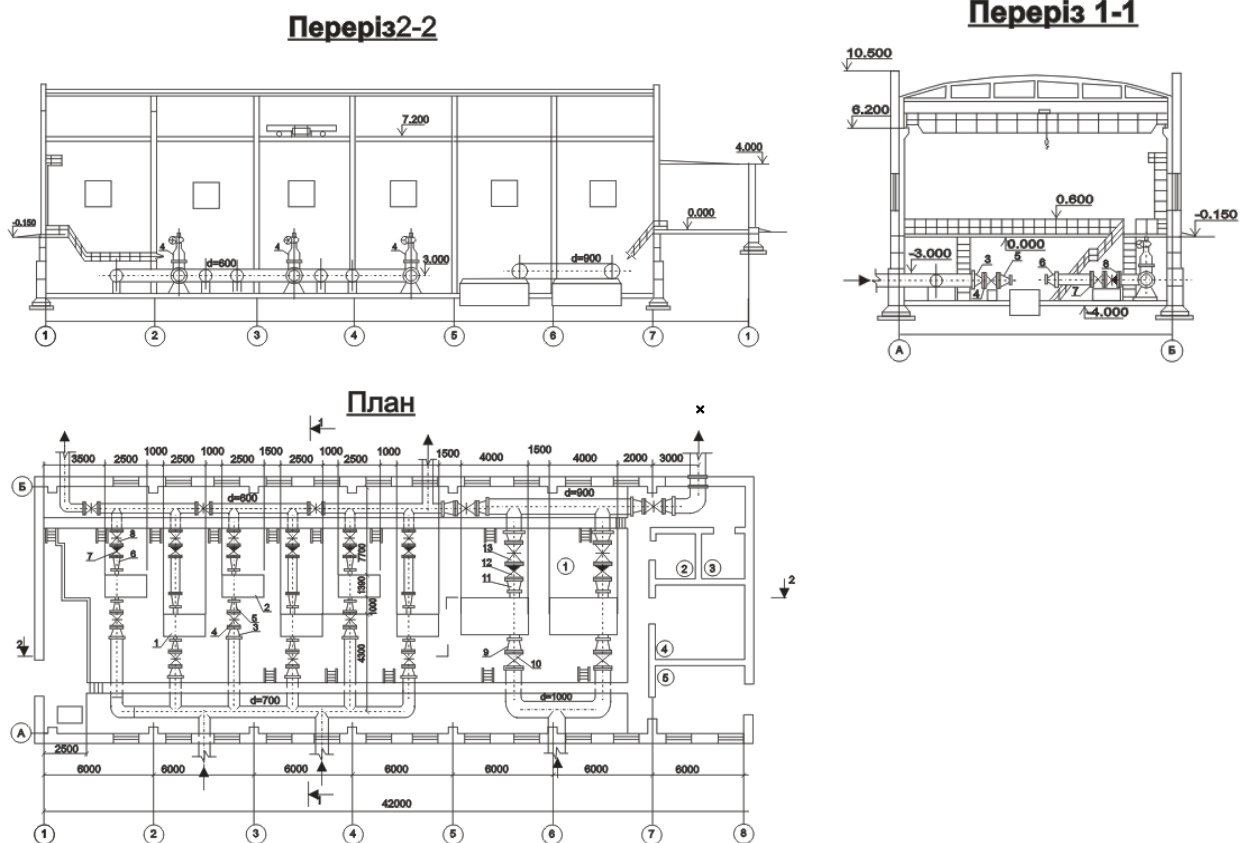


Рисунок 2.25 – Насосна станція другого підйому (індивідуальний проект):

- 1 – насос для господарсько-питних цілей;
- 2 – електродвигун;
- 3 – перехід;
- 4, 8, 10, 13 – засувка;
- 5, 9 – перехід для підключення усмоктуючої лінії до насоса;
- 6, 11 – перехід для підключення напірної лінії до насоса;
- 7, 12 – зворотний клапан

Станція призначена для господарсько-питного, протипожежного та виробничого водопостачання за I і II класами надійності дії.

Водопровідні насосні станції другого підйому можуть бути виконані як за типовими, так і за індивідуальним проектами. Приймають однорядне розміщення двох груп насосів – господарських та насосів для промивання фільтрів очисної станції. Для заливання насосів перед запуском передбачають вакуумну систему з насосами типу ВВН. Машинний зал обладнують мостовим електрифікованим краном вантажопідйомністю до 10 т.

Споруда станції зазвичай заглибленого типу, підземна частина виконана з бетонних плит, а верхня будова – збірно-каркасної конструкції.

2.5 Підвищувальні насосні станції

Підвищувальні насосні станції призначені для підвищення напору у водогінній мережі. Необхідність підвищення напору може виникнути для окремих будинків або цілого мікрорайону із забудовою підвищеної поверховості. Вода насосами таких станцій забирається безпосередньо з мережі й, отримавши в насосі відповідне збільшення напору, подається в мережу. Підвищувальні насосні станції для окремих будинків у переважній більшості випадків обладнують відцентровими консольними насосами та розміщують у підвальному або в спеціальному приміщеннях першого поверху будинку. Підвищувальні станції для мікрорайонів влаштовуються в окремих будинках [2].

Напір підвищувальної станції:

$$H = H_{\text{необх}} - H_{\text{м}}, \quad (2.15)$$

де $H_{\text{необх}}$ – необхідний напір для будинку або розрахунковий вільний напір мікрорайону;

$H_{\text{м}}$ – напір мережі у місці підключення насосів, м.

Керування підвищувальними насосними станціями найчастіше автоматизоване.

Конструкція, устаткування та схема компонування підвищувальної насосної станції цілком і повністю залежать від типу водоводів, якими вода підводиться до станції та відводиться від неї.

Насосні станції, які використовують для підвищення тиску в системі напірних трубопроводів (станції підкачування), дуже схожі на невеликі водопровідні насосні станції II підйому. Насоси забирають воду з мережі водопроводу низького тиску та подають її в мережу високого тиску.

На рисунку 2.26 зображена підвищувальна насосна станція, призначена для подачі води на господарсько-питні та протипожежні потреби міського мікрорайону з будинками підвищеної поверховості [29].

У будівлі станції незаглибленого типу встановлені чотири відцентрових насоси консольного типу. Для господарсько-питних потреб звичайно працюють два насоси, два інших – резервні. Робота насосних агрегатів автоматизована.

Вода забирається з мережі водопроводу низького напору й подається в мережу високого напору двома трубопроводами, діаметр яких 150 мм.

У сучасному проектуванні часто використовують блочно-модульні

підвищувальні насосні станції. Типовий проект насосної станції ТП 945-2-12.2010 (Q до 1000 м³/год, Н до 145 м) зображений на рисунку 2.27 [30].



Рисунок 2.26 – Підвищувальна водопровідна насосна станція (м. Санкт-Петербург), 2008 р.

Блочно-модульна насосна станція складається з підземної та наземної частини. Обидві частини станції поставляються на будівельний об'єкт у повній готовності до монтажу. За ступенем забезпечення подачі води підвищувальна станція може належати до I, II або III категорії надійності дії.

Робота насосів повністю автоматизована, залежно від рівня води у резервуарі, у водонапірній башті або тиску у мережі.

У блочно-модульній насосній станції встановлюється від 2 до 6 занурених насосів з кожухами охолодження. Станція може працювати навіть під час аварійного затоплення машинного залу, тому що насоси здатні працювати під водою.

Пуск насосів здійснюється на відкриті засувки на напірних водоводах. Обслуговування насосів та засувок відбувається з підлоги.

Для забезпечення незатопленості підвищувальної насосної станції передбачені такі заходи:

- для відкачування аварійних вод у прямках встановлені 2 занурені дренажні насоси (1 робочий + 1 резервний);
- шафа управління насосами розташована вище можливого рівня затоплення;
- передбачено дистанційне закриття засувок (встановлюються у колодязях поряд з насосною станцією) на всмоктуючих і напірних трубопроводах.

Передбачається припливно-витяжна, з природним спонуканням вентиляція блочно-модульної насосної станції.

Загальне освітлення прийнято здійснювати світильниками, обладнаними енергозберігаючими лампами з високою світловою віддачею і напругою 220 В. Для ремонтного освітлення використовується переносний світильник.

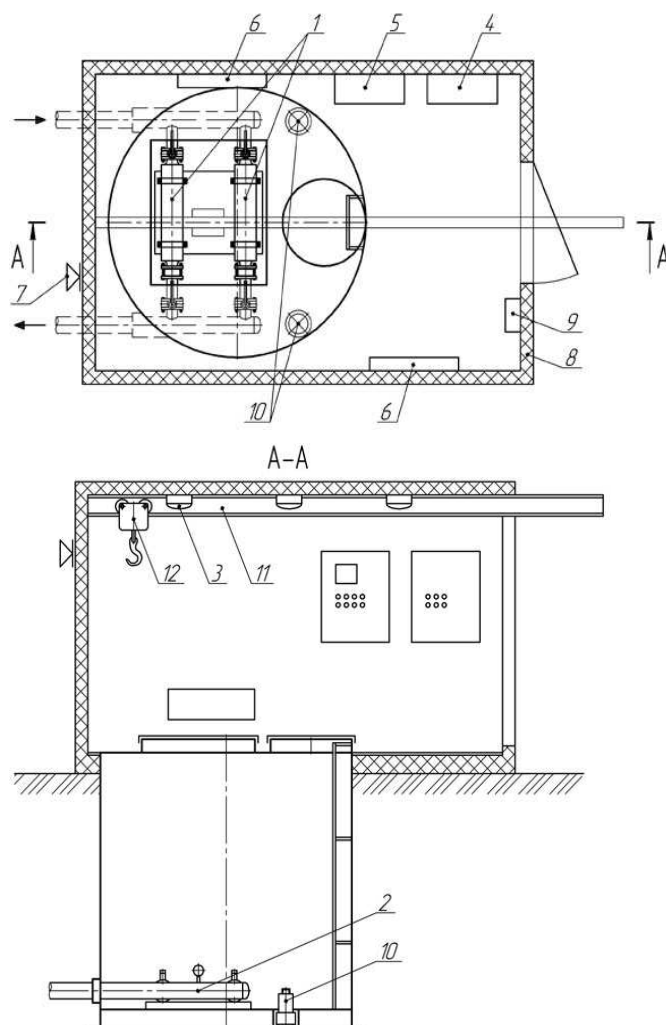


Рисунок 2.27 – Підвищувальна насосна станція ТП 945-2-12.2010:

- 1 – насос занурювальний з кожухом охолодження (1 робочий + 1 резервний) (максимально 6 насосів);
- 2 – запірна арматура, трубопроводи, контрольно-вимірювальні прилади;
- 3 – освітлення;
- 4 – шафа АВР (автоматичне введення резервного живлення);
- 5 – шафа управління підвищувальними насосами;
- 6 – електричний обігрівач (кількість залежить від габаритів блочно-модульної насосної станції);
- 7 – вентиляційна решітка;
- 8 – павільйон;
- 9 – шафа власних потреб;
- 10 – дренажний насос, поплавкові вимикачі;
- 11 – монорельс;
- 12 – таль

У підвищувальній насосній станції передбачене опалення електричними обігрівачами з електронним термостатом.

Для станцій I і II категорій надійності передбачена можливість підключення двох введень електроживлення. Кожне введення розраховане на повне навантаження. Для насосної станції I категорії надійності передбачений АВР. Станція III категорії має одне введення електроживлення.

Однією з головних причин перевитрати електричної енергії на блочно-

модульній насосній станції є надлишковий напір, який створюється підвищувальним насосом. До того ж регулювання напору у водопровідній мережі в більшості випадків здійснюється шляхом закриття / відкриття засувки на напірному колекторі. Унаслідок цього потужність, необхідна для створення надлишкового напору, витрачається на подолання опору не повністю відкритої засувки.

Під час управління насосом за допомогою перетворювача частоти насос створює саме той напір, який необхідний у цій точці водопровідної мережі. Засувка на напірному колекторі повністю відкрита і не створює додаткового опору у трубопроводі.

Окрім відсутності необхідності витрачати електроенергію на створення надлишкового напору, необхідно також враховувати те, що дуже багато водопровідних мереж в нашій країні застаріли. Із огляду на це навіть невелике збільшення напору багаторазово збільшує вірогідність аварії трубопроводу, що спричиняє значні фінансові витрати. Застосування перетворювача частоти дає змогу не тільки стабілізувати напір в мережі, але й домогтися необхідної плавності його зміни під час увімкнення та вимкнення підвищувального насоса.

Підвищувальні насосні станції використовують на відкритих каналах, які транспортують воду на далекі відстані. До складу такого гідротехнічного вузла, крім ділянок каналу, що підводять і відводять, входять будівля насосної станції, зовнішні напірні трубопроводи, випуск води зі сполученими пристроями і відкрита знижувальна підстанція. Насосна станція розрахована на установку трьох – чотирьох агрегатів, що складаються з вертикального осьового поворотно-лопатєвого насоса типу ОП 10–185 або ОП 11–185 і безпосередньо з'єданого з ним синхронного вертикального електродвигуна ВДС–325/44–18 потужністю 5 000 кВт та напругою 6 000 В.

Для полегшення будівлі станції її конструкція може бути вирішена у вигляді вільно стоячого у воді тонкостінного циліндра, розділеного міжповерховим перекриттям з несучим стояком у центрі. Отвори усмоктувальних труб насосів перекриваються зйомними ґратами.

Напірні трубопроводи, індивідуальні для кожного насоса, виконують з металевих обичайок з посиленою антикорозійною ізоляцією. Випуск води – сифонного типу із клапанами зриву вакууму. Кількість сифонів дорівнює кількості насосів.

2.6 Циркуляційні насосні станції

Циркуляційні насосні станції входять до складу систем оборотного водопостачання енергетичних і промислових підприємств. Вони призначені для створення циркуляції води в системах охолодження робочих машин і агрегатів. Група циркуляційних насосних станцій найбільш різноманітна, тому що тип, кількість насосів, компонування устаткування й трубопроводів залежать від системи водопостачання, її призначення, від виду охолоджуючих споруд [31].

Станції циркуляційних систем охолодження теплових і атомних електростанцій, металургійних комбінатів за ступенем надійності роботи належать до I категорії. Навіть короткочасні перерви в їхній роботі не повинні

допускатися, тому що це може спричинити важкі наслідки. Надійність роботи насосних станцій систем охолодження атомних електростанцій забезпечується за шляхом триразового дублювання енергоживлення, кількості агрегатів і надійних схем перемикання трубопроводів.

Параметри для підбору насосів визначають за тими ж методиками, що й для насосних станцій систем комунального водопостачання. Однак під час визначення подачі в окремих випадках необхідно враховувати температуру охолоджуваного робочого тіла, а також сезонне коливання температури води в джерелі. Режим роботи циркуляційних насосних станцій у більшості випадків постійний. Розглянемо особливості деяких з них.

Джерелом води для систем охолодження теплових електростанцій часто слугують водоймища-охолоджувачі. У таких системах подача охолодженої води з водоймища на електростанцію здійснюється блоковими або центральними насосними станціями.

На центральних станціях (рис. 2.28, а) встановлюють не менше чотирьох насосів із сумарною подачею, що дорівнює максимальній розрахунковій витраті охолодженої води. Резерв насосів не передбачають.

Вода від насосів через камеру перемикачів надходить у два або більше напірних магістральних водовода, до яких підключають конденсатори турбін. Така схема компонування, за наявності запірно-регулюючої арматури, забезпечує надійність роботи станції. Регулювання подачі води здійснюється не тільки поворотом лопатей насосів, але й кількістю їхніх вмикань. Центральні насосні станції обладнують насосами типу ОП, а в разі підвищених напорів використовують насоси типу Д.

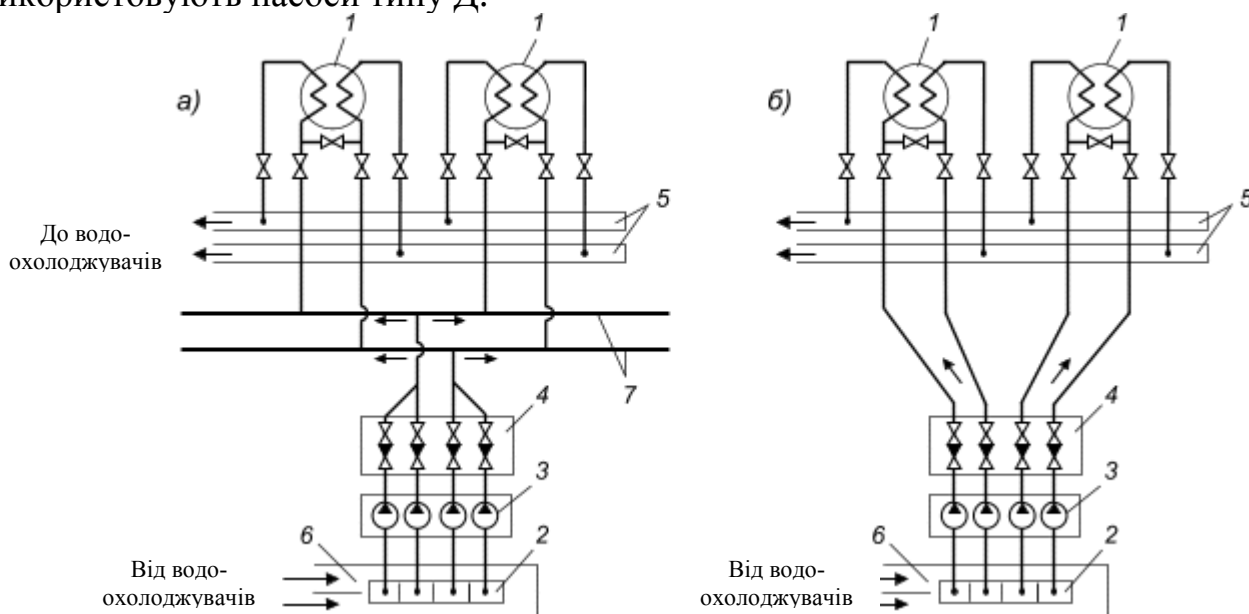


Рисунок 2.28 – Схеми оборотного водопостачання ТЕС:

а) централізована; б) блочна;

1 – конденсатори парових турбін;

2 – приймальні колодязі

3 – будівля циркуляційної станції;

7 – напірні трубопроводи

4 – приміщення зворотних клапанів та засувок;

5 – закриті самопливні відвідні канали (до басейнів) або зливні напірні трубопроводи (до градирень);

6 – приймальні самопливні канали (з приймальними колодязями);

Загальний напірний водовод дає змогу розміщувати насосну станцію в деякому віддаленні від споруди електростанції. Насосні станції, зазвичай, сполучають із водозабірними спорудами.

У блокових насосних станціях (рис. 2.28, б) для кожного блока (турбіна-генератор) встановлюють по два циркуляційних насоса. Від кожного насоса до конденсаторів турбін підводять окремі напірні водоводи. Охолоджена вода з конденсаторів зливальними трубами надходить у канал і відводиться у водоймище. Особливістю таких станцій є відсутність запірно-регулюючої арматури і зворотних клапанів на трубопроводах. Засувки встановлюють лише на зливальних трубах конденсаторів. Це знижує загальні енерговитрати й вартість експлуатації. З метою регулювання подачі води станцію обладнують осьовими поворотно-лопатевими насосами. Блокові насосні станції розміщують фронтально до машинного залу електростанції.

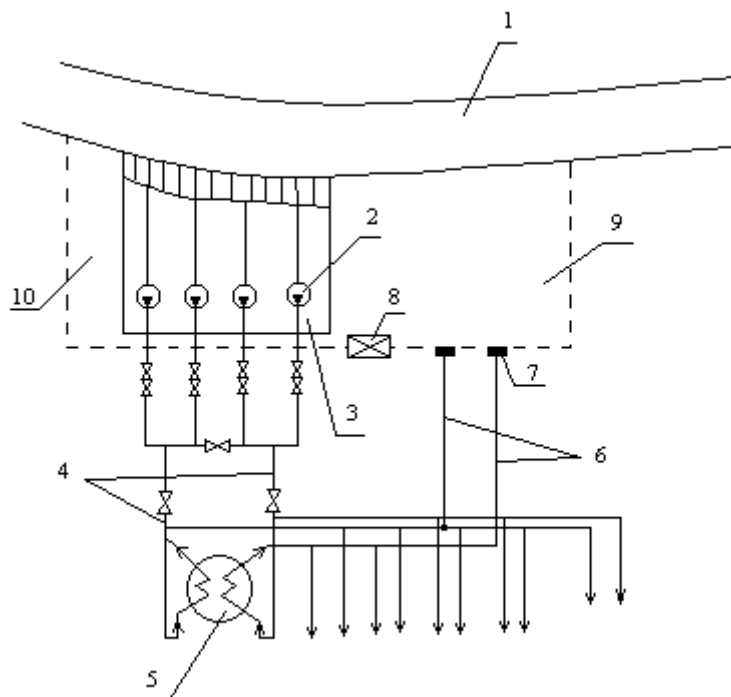


Рисунок 2.29 – Прямоточна схема водопостачання промислового підприємства:

- 1 – джерело водопостачання;
- 2 – циркуляційні насоси;
- 3 – берегова насосна станція;
- 4 – напірні циркуляційні водоводи;
- 5 – конденсатор;
- 6 – зливні циркуляційні водоводи;
- 7 – сифонні колодязі;
- 8 – колодязі перемикачів;
- 9 – зливний канал;
- 10 – перепускний канал

Під час проектування будинків і водозабірних споруд циркуляційних насосних станцій керуються [17].

Недоліком системи охолодження із центральною насосною станцією є відносно велика кількість арматури, що спричиняє збільшення гідравлічних

втрат, а отже, і експлуатаційних витрат.

На промислових підприємствах циркуляційні насосні станції систем охолодження із градирнями й бризкальними басейнами трохи відрізняються від розглянутих вище.

Відмінною рисою таких станцій є установка двох груп насосів. Перша група насосів призначена для подачі охолодженої води в технологічні цехи, а насоси другої групи перекачують гарячу воду, що надходить із цехів, в охолоджуючі споруди. Для запобігання утворення карбонатних відкладень і біологічних обростань трубопроводів і технологічних апаратів охолоджена вода обробляється сірчаною кислотою, гексаметафосфатом, хлором і мідним купоросом, для чого на станції передбачається спеціальне приміщення реагентного господарства.

Циркуляційні насосні станції схем водопостачання промислових підприємств призначені головним чином для подачі води в охолоджуючі пристрої різних технологічних установок (конденсатори парових турбін, холодильники доменних і мартенівських печей, прокатних станів тощо). Тип і кількість насосів, компонування трубопроводів циркуляційної насосної станції залежать, у першу чергу, від прийнятої схеми водопостачання (прямоточна (рис. 2.29) або оборотна) і виду водоохолоджуючих споруд [31].

Всі циркуляційні насосні станції, що подають воду на технологічні потреби, належать до станцій I класу надійності дії. Перерви в їхній роботі, навіть найкоротші, ні за яких умов не можуть бути допущені. Безперебійна робота станцій досягається відповідним резервом устаткування, дублюванням системи енергопостачання, усмоктуючих і напірних комунікацій, а також установкою насосів під заливом. У зв'язку з цим, циркуляційні насосні станції в більшості випадків будують заглибленими, з підземним розміщенням насосного приміщення.

Кількість води, необхідна для охолодження технологічного устаткування, перебуває в прямої залежності від її первісної температури. Чим вища температура води, тим більше її потрібно, і навпаки. З огляду на це кількість агрегатів, їхню подачу, тип насосів і приводних електродвигунів варто вибирати з урахуванням зміни температури води в межах річного циклу. Під час коливання температури води необхідно змінювати сумарну подачу станції шляхом увімкнення різної кількості насосів і переходити на іншу частоту обертання або на інший кут установки лопатей робочого колеса (в осьових насосах).

Іноді конструкцію підводної частини будівлі циркуляційної насосної станції системи оборотного водопостачання розбивають за висотою на два яруси, на кожному з яких розташовані насосні агрегати. Таке компонування устаткування дає змогу забирати насосами необхідну кількість охолодженої води з різних глибин залежно від температури повітря. Крім того, двох'ярусне розміщення насосів скорочує розміри підводної частини станції в плані на 40 % (у порівнянні зі звичайним одноярусним розташуванням насосів) без збільшення розмірів споруди за висотою, значно зменшує будівельний обсяг, а отже, і вартість станції.

2.7 Пересувні насосні станції

Для водопостачання тимчасових споруд, господарств і будівельних майданчиків широко застосовують пересувні насосні установки і станції невеликої подачі. Досвід будівництва й експлуатації систем водопостачання вказує на очевидну економічну доцільність великих насосних станцій, у яких собівартість води, що подається, зазвичай у 2–4 (і більше) рази нижче, ніж у станцій малої подачі. Проте існування невеликих насосних установок, зокрема пересувних, є цілком закономірним і виправданим, незважаючи на їхню порівняно малу економічність. Варто мати на увазі, що серійне виготовлення пересувних насосних станцій на заводах знижує їхню вартість, дає змогу швидко вводити в дію й зводить до мінімуму потребу щодо будівельних матеріалів.

У зв'язку з особливостями роботи пересувних насосних станцій, що полягають у значній зміні дійсних висот усмоктування, частих переміщеннях, монтажах і демонтажах, для установки на цих станціях найбільш придатні відцентрові насоси. На сьогодні майже всі пересувні насосні станції обладнані одноступеневими відцентровими насосами консольного типу або двостороннього усмоктування [32].

Існує багато різних типів і конструкцій пересувних насосних станцій. Залежно від системи привода й способу пересування розрізняють сухопутні насосні станції із зовнішнім приводом, сухопутні насосні станції із власним двигуном і плавучі насосні станції.

Пересувна насосна станція СНП-120/30 (рис. 2.30) призначена для подачі води у зрошувальну мережу з природних водойм або річок. Насос станції – відцентровий. Усмоктуючий трубопровід має забірник з фільтром, що виконаний у вигляді сітки коробчастої форми. Напірний трубопровід обладнано засувкою, яка призначена для пуску насоса та регулювання витрати води. Газовий ежектор слугує для заповнення водою всмоктуючого трубопроводу та насоса.

Станцію попередньо встановлюють біля водойми та опускають в неї всмоктуючий трубопровід із забірником. Насос повинен розташовуватися над рівнем води не вище 3,5 м. Запускають двигун і вмикають газовий ежектор. У момент закінчення заповнення з ежектора викидається водяний пил і вода. Після закінчення заповнення всмоктуючого трубопроводу і насоса водою вмикають насос для подачі води в мережу.

Насосну станцію встановлюють повздовжньою віссю перпендикулярно до берега водойми або річки та регулюванням опор досягають її горизонтального положення. Подача насосної станції 80...175 л/с, тиск у мережі 0,39...0,23 МПа. Агрегатується вона з трактором класу тяги 30 кН.

Пересувні насосні станції із власним двигуном виконують у вигляді причепа. Як приводні двигуни використовують двигуни внутрішнього згоряння або електродвигуни.

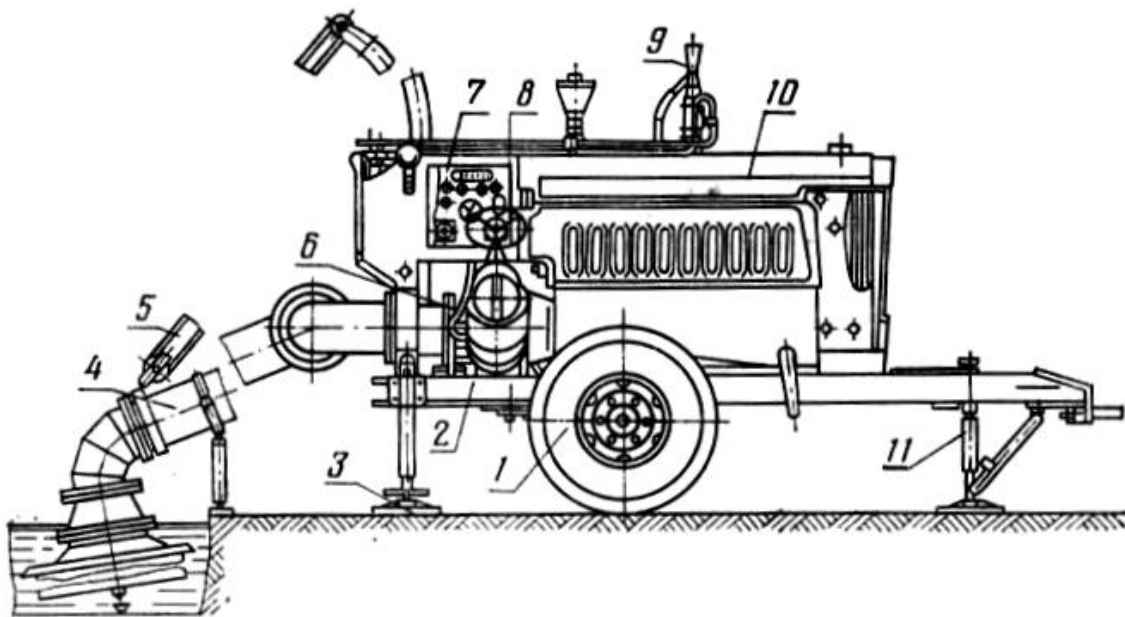


Рисунок 2.30 – Пересувна насосна станція СНП–120/30:

- | | |
|---|---|
| 1 – причіп; | 6 – насос; |
| 2 – вісь; | 7 – пульт керування; |
| 3 і 11 – опори; | 8 – напірний трубопровід із засувкою; |
| 4 – всмоктуючий трубопровід; | 9 – газовий ежектор на випускній трубі двигуна; |
| 5 – механізм підйому всмоктуючого трубопроводу; | 10 – дизельний двигун |

Плавучі насосні станції належать до найбільш потужних пересувних станцій (рис. 2.31).

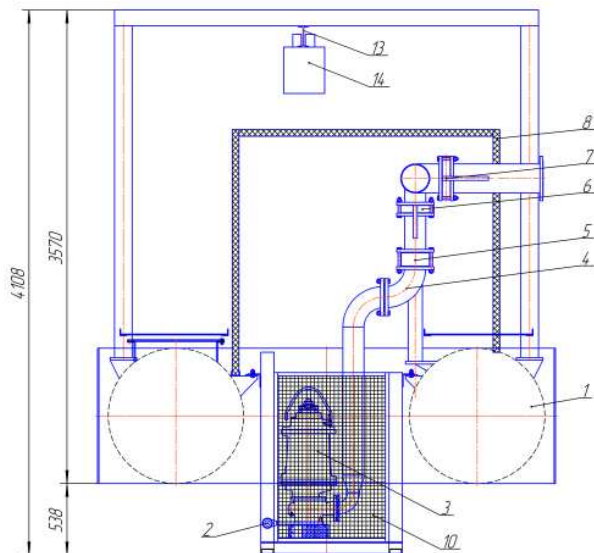


Рисунок 2.31 – Плавуча насосна станція «Іртиш»:

- | | |
|------------------------------------|---|
| 1 – сталеві поплавки; | 8 – павільйон; |
| 2 – опускний пристрій; | 9 – обігрів павільйону; |
| 3 – занурювальний насос; | 10 – рибозахисний пристрій; |
| 4 – трубна обв'язка з фланцями; | 11 – шафа управління з частотним регулюванням (не зображено); |
| 5 – зворотний клапан; | 12 – клемна коробка (не зображено); |
| 6, 7 – поворотний дисковий затвор; | 13 – монорельс на опорах; |
| | 14 – таль ручна |

Все устаткування плаваючих насосних станцій розміщується на понтоні – металевому або залізобетонному. Для привода насосів використовують двигуни внутрішнього згоряння або електродвигуни.

Пересувні плаваючі насосні станції застосовують за умови нестійких берегів джерел та коливання рівнів води в них більше 5 м. Воду подають до берега через рухомі напірні трубопроводи [32].

Подачі плаваючих насосних станцій досягають $20 \text{ м}^3/\text{с}$, однак більшість плаваючих насосних станцій мають подачі до $1 \text{ м}^3/\text{с}$. Після закінчення поливального сезону їх можна евакуювати у місця зимового зберігання.

2.8 Обладнання насосних станцій водопостачання

Вибір основного устаткування насосних станцій, конструкції й типу насосів і двигунів може бути здійснений після вирішення таких питань:

- призначення й розташування насосної станції в системі;
- режим водоспоживання й відповідний йому режим роботи насосної станції (рівномірний або східчастий);
- продуктивність системи водопостачання;
- тип і розташування джерела водопостачання;
- розрахункові значення основних параметрів станції: подачі Q і напору H ;
- кількість робочих і резервних насосів;
- режим роботи станції під час пожежі.

В насосних станціях систем водопостачання застосовуються лопатеві насоси (відцентрові та осьові).

Вибір потрібної марки насоса виконується за розрахунковими параметрами Q і H та за допомогою зведеного графіка полів $Q - H$ необхідного типу насосів.

Вивчаються характеристики обраного насоса ($Q - H$; $Q - N$; $Q - \eta$), зокрема під час спільної роботи з водогінною мережею (трубопроводом) і визначаються заходи щодо забезпечення роботи насосів в області оптимальних значень ККД (обточування робочого колеса, зміна кількості обертів).

Обточуванням або зміною кількості обертів робочого колеса в припустимих межах можна розширити сферу застосування насосів.

У сучасних насосних установках застосовують асинхронні електродвигуни змінного струму. Кількість обертів асинхронних електродвигунів (об./хв.) така: 2 900, 1 450, 975, 730, 580, 480, 360, 290. Один насос, залежно від приводного електродвигуна, може працювати з різною кількістю обертів й, відповідно до законів теорії подоби, змінювати свої характеристики [1–3].

2.8.1 Компонування насосних станцій

Після вибору за розрахунковими параметрами Q і H основного устаткування (насосів і двигунів) виконується компоновка будівлі насосної станції.

Компонування станції, склад елементів і їх тип визначаються за видом джерела водопостачання.

До складу елементів насосних станцій першого підйому під час забору води з поверхневих джерел (річки, водоймища) належать:

- водозабірні споруда;
- проміжні елементи від водозабору до водоприймальних споруд ;
- водоприймальні споруди;
- усмоктувальні труби;
- основне (насоси, двигуни), механічне й допоміжне устаткування станції;
- напірні трубопроводи.

Конструктивне вирішення місцезнаходження станції визначається розміщенням водозабору стосовно джерела (береговий або русловий водозбір) і щодо самої станції (сполучений або роздільний тип споруди).

До складу елементів водозаборів насосних станцій під час забору підземної води належать такі елементи:

- водоприймальні споруди (свердловини, колодязі, горизонтальні водозбори тощо);
- свердловинні насоси;
- напірні трубопроводи.

До складу елементів насосних станцій другого підйому належать:

- усмоктувальні труби;
- основне (насоси, двигуни), механічне й допоміжне устаткування;
- напірні трубопроводи;
- колектори усмоктувальних і напірних трубопроводів.

Поділ насосних станцій за розташуванням щодо поверхні землі на наземні, заглиблені й підземні визначається видом джерела водопостачання та рівнем води в ньому.

Наземні будівлі станцій використовуються під час забору води з поверхневих джерел з невеликими коливаннями рівня води – насоси встановлюються з позитивною висотою усмоктування. Будівлі проектується прямокутними в плані.

Заглиблені станції влаштовують під час забору поверхневих вод зі значним коливанням рівнів води в джерелі, що перевищує припустиму висоту усмоктування насосів.

Будівлі заглиблених насосних станцій складаються з підземної частини й верхньої надбудови; підземна частина станції звичайно кругла в плані, верхня надбудова – прямокутної форми.

Глибина підземної частини заглиблених станцій визначається за розташуванням насосів щодо рівня води в джерелі (резервуарі) – висотою усмоктування насосів або висотою підпору. Будівлі станцій проектується таким чином, щоб насоси розташовувалися «під заливом» щодо рівня низьких вод у джерелі [1–3].

У заглиблених насосних станціях першого підйому у разі встановлення насосів «під заливом» величина заглиблення станції визначається за формулою:

$$h_{загл} = Z_{знс} - Z_{пмз}, \quad (2.16)$$

де $Z_{знс}$ – позначка поверхні землі біля насосної станції, м;

$Z_{пмз}$ – позначка підлоги машинного залу станції, м.

Позначка підлоги машинного залу, $Z_{пмз}$ м, визначається за формулою:

$$Z_{пмз} = Z_{рнв} - h_{нас} - h_{рами} - h_{фунд} - h_n - 0,5, \quad (2.17)$$

де $Z_{рнв}$ – позначка рівня низьких вод у джерелі, м;

$h_{нас}$ – висота насоса (з каталога), м;

$h_{рами}$ – висота рами насоса, м ($h_{рами} = 0,2$ м);

$h_{фунд}$ – висота фундаменту насоса, м ($h_{фунд} = 0,5$ м);

h_n – товщина підлоги машинного залу ($h_n = 0,4$ м);

0,5 – запас на зниження рівня води в джерелі, м.

Під час улаштування руслового водозабору та в разі великої довжини самопливних труб необхідно під час обчислення $Z_{пмз}$ врахувати зниження рівня води у водоприймальній камері (стосовно $Z_{рнв}$) внаслідок втрат напору в самопливних трубах ($h_{всам.тр}$)

Насосні станції другого підйому (НС II), залежно від висотної схеми РЧВ, можуть бути наземними або частково заглибленими.

Під час проектування НС II важко домогтися того, щоб насоси перебували «під заливом» через широкий діапазон рівнів води в РЧВ. Так, за максимального рівня води в РЧВ насоси зазвичай працюють «під заливом», а за мінімального рівня – з позитивною висотою усмоктування.

У разі змінного рівня води в резервуарі (РЧВ) необхідно забезпечити припустиму висоту усмоктування насосів $h_{усм}^{прит}$ і передбачити засувки на усмоктувальних лініях насосів та заливання насосів перед їхнім пуском (за допомогою вакуум-насосів або ежекторів).

Позначка рівня підлоги машинного залу станції $Z_{пмз}(м)$ (рис. 2.32) визначається за формулою:

$$Z_{пмз} = Z_{знс} - h_n, \quad (2.18)$$

де $Z_{знс}$ – позначка поверхні землі біля насосної станції, м;

h_n – розташування рівня підлоги машинного залу стосовно поверхні землі біля станції $Z_{знс}$, м, визначається за формулою:

$$h_n = h_{он} + E + T + H_{ф}, \quad (2.19)$$

де $h_{он} = Z_{знс} - Z_{пмз}$ – розташування осі насоса, м;

$Z_{он}$ – позначка осі насоса, м;

E – відстань від осі до рами, визначається за каталогом для цього насоса, м;

T – висота рами під насосом, приймається конструктивно, $T = 0,2$ м;

$H_{ф}$ – висота фундаменту над рівнем підлоги машинного залу, $H_{ф} = 0,5$ м.

Позначка осі насосів НС II (м) визначається за формулою:

$$Z_{он} = Z_{рчв}^{мин} + h_{усм}^{прип}, \quad (2.20)$$

де $Z_{рчв}^{мин}$ – позначка мінімального рівня води в РЧВ, м;

$h_{усм}^{прип}$ – припустима висота усмоктування насоса, м.

Висота усмоктування насоса $h_{усм}^{прип}$ (м) з коректуванням $h_{вак}^{прип}$ на місцеві значення P_a, t °C розраховується за формулами першого розділу.

Висота верхньої надбудови станцій, які не обладнані підйомними механізмами, приймається не менше 3 м.

Висота приміщення станції з підвісною кран-балкою така:

$$H_{в.бюд.} \geq h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + 0,5, \quad (2.21)$$

де h_1 – висота монорейки кран-балки, м ($h_1 = 0,2$);

h_2 – висота від гака до низу монорейки, м ($h_2 = 1,0$ м);

h_3 – висота стропування вантажу, м ($h_3 = 0,5 - 1,0$ м);

h_4 – висота вантажу, м;

0,5 – висота від вантажу до підлоги, м.

Висота приміщення станції з мостовим краном визначається за формулою:

$$H_{в.бюд} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + 0,5 + h_{об} + 0,1, \quad (2.22)$$

де h_1 – висота над голівкою підкранової рейки, м;

h_2 – висота від гака до голівки рейки, м;

h_3 – висота стропування, м;

h_4 – висота вантажу, м;

0,1 – відстань від низу перекриття до верху балки, м.

Розташування насосних агрегатів і внутрішньостанційних трубопроводів у будинку насосної станції визначається за типом, розмірами й кількістю основного й допоміжного устаткування, а також за формою будівлі в плані. Так, наприклад, розташування агрегатів з відцентровими насосами та з горизонтальним валом у будинках прямокутної форми може бути виконане за однією зі схем так:

- однорядне, паралельно поздовжньої осі будинку;
- однорядне, перпендикулярно поздовжньої осі будинку;
- однорядне, під кутом до поздовжньої осі будинку;
- дворядне;
- дворядне в шаховому порядку й тощо.

Одним із критеріїв розташування агрегатів у спорудах насосних станцій є забезпечення безпеки обслуговування й зручності монтажу (демонтажу). Компонування агрегатів повинне бути таким, щоб був вільний доступ до кожного агрегату з усіх боків.

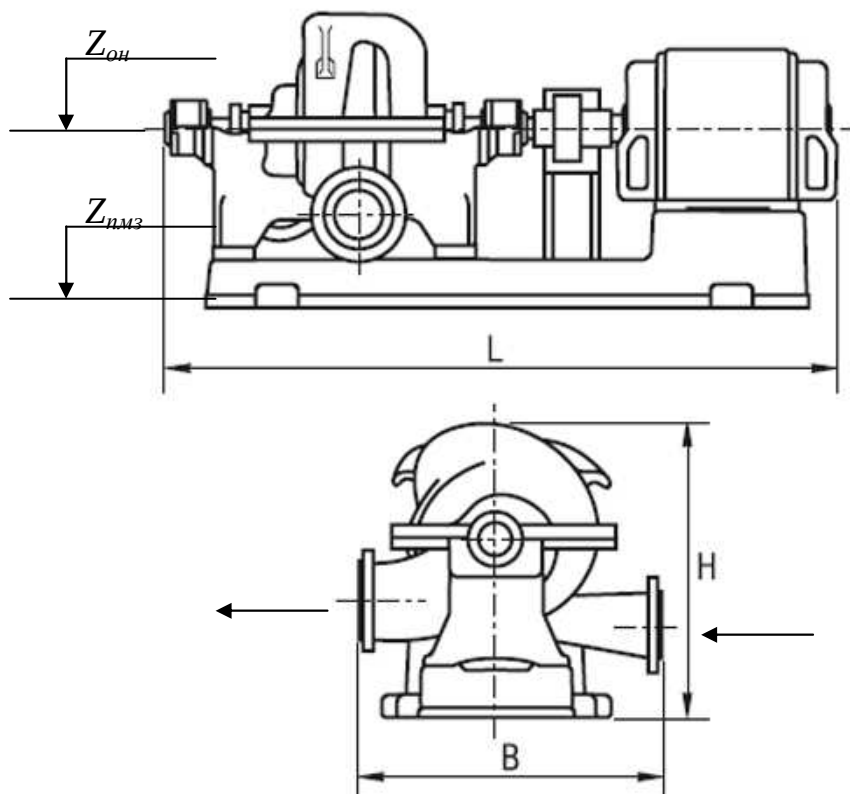


Рисунок 2.32 – Схема для визначення габаратних розмірів насосного агрегата та основних позначок у машинному залі насосної станції

Проходи й відстані між агрегатами мають бути такими:

- між виступаючими частинами насосних агрегатів потрібно залишати прохід шириною не менше 1 м – у разі застосування низьковольтних (до 1 000 В) електродвигунів і 1,2 м – у разі застосування високовольтних (більше 1 000 В);
- відстань між агрегатами та стінкою має бути не менше 0,7 м, за умови їхнього розташування в шахматному порядку і дорівнює 1 м під час їх розташування за іншими описаними вище схемами;
- між фундаментами агрегатів і розподільчим щитом необхідно дотримуватися дистанції 1,5 м, а між нерухомими виступаючими частинами іншого обладнання – не менше 0,7 м. В насосних станціях, зазвичай усередині будівлі, влаштовують майданчики для монтажу та ремонту агрегатів (монтажні майданчики);
- допоміжне обладнання (дренажні насоси, вакуум-насоси тощо) розташовують таким чином, щоб не збільшувати розміри будівлі, тобто на вільних місцях машинного залу.

2.9 Усмоктувальні та напірні трубопроводи

Усмоктувальні трубопроводи призначені для надійного, безперебійного підведення води до насосів з найменшими втратами енергії. Вони є одним з найбільш важливих елементів насосної станції. Головною вимогою щодо усмоктувальних трубопроводів відцентрових насосів, з погляду забезпечення ними надійного та безперебійного підведення води, є їхня

повітронепроникність, тому що потрапляння повітря в міжлопатеві канали робочого колеса насоса негативно позначається на його характеристиках. Навіть невелика (до 1 % на 1 м³ води) наявність нерозчиненого повітря може зменшити подачу насоса на 5–10 %, а в разі збільшення змісту повітря до 10–15 % насос втрачає всмоктувальну здатність і відбувається зрив його роботи [1–3].

У зв'язку з цим, усі стики деталей трубопроводів виконують герметичними. Найкращими є зварені з'єднання. У випадку застосування болтових з'єднань до всіх фланців усмоктувального трубопроводу, до них має бути забезпечений доступ для того, щоб можна було контролювати їхній стан і систематично підтягувати болти.

Щоб уникнути потрапляння повітря в усмоктувальний трубопровід через вільну поверхню води у водоприймальній споруді, вхідний отвір трубопроводу заглиблюють на 0,5–1,5 м нижче найнижчого рівня. Якщо не можна забезпечити необхідне заглиблення, варто встановити на кінцях усмоктувальних труб екрани, що запобігають утворенню вирв навколо труб й, отже, потраплянню в них повітря.

Для запобігання утворення в усмоктувальному трубопроводі повітряних мішків трубопровід прокладають із підйомом у бік насоса (ухил не менше 0,005), щоб повітря, що виділилося з води у зонах зі зниженим тиском, могло вільно рухатися разом з водою до насоса. З цієї ж причини під час переходу з одного діаметра на інший на горизонтальних ділянках трубопроводу застосовують тільки «косі» переходи з горизонтальною верхньою утворюючою.

Втрати енергії в усмоктувальному трубопроводі не тільки призводять до необхідності збільшення напору й потужності насоса, але й спричиняють зменшення тиску на вході в насос, сприяючи виникненню й розвитку кавітації.

Для зменшення втрат енергії усмоктувальний трубопровід повинен бути найменшої довжини й мати мінімальну кількість фасонних частин (колін, відводів, трійників тощо).

Діаметри усмоктувальних труб, фасонних частин і арматури визначають шляхом розрахунків. Для попереднього вибору можна керуватися значеннями припустимих швидкостей: якщо діаметр усмоктувальних труб до 250 мм – 0,7–1 м/с; 300 – 800 мм – 1–1,5 м/с; понад 800 мм – 1,5–2 м/с.

Для зменшення місцевих втрат під час входу потоку в усмоктувальну трубу діаметр вхідного перетину $D_{вх}$ збільшують у порівнянні з діаметром труби $d_{тр}$. Звичайно приймають $D_{вх} = (1,25...1,5) d_{тр}$. У разі центрального кута конічності вхідної частини 8–16 ° довжина її становить $l_k = (3,5...7) (D_{вх} - d_{тр})$. Прийомні клапани через значні гідравлічні опори, які створюються ними, встановлюють лише на невеликих й, зазвичай, тимчасових насосних установках, що мають діаметр усмоктувальної труби не більше 300 мм.

За наявності у водоприймальній камері двох і більше усмоктувальних труб відстань між ними повинна бути не менше $(1,5...2)D_{вх}$. Взаємне розташування труб у цьому разі має виключати можливість впливу працюючих насосів один на одного. Деякі приклади неправильного й правильного розміщення усмоктувальних труб у прийомній камері подані На рисунку 2.33 [34].

За відносно великої довжини усмоктувальних ліній і складних конструкцій водоприймальних споруд, що характерно для великих насосних станцій першого підйому роздільного типу, а також для насосних станцій другого підйому, обладнаних великою кількістю робочих і резервних агрегатів, допускається менша кількість усмоктувальних труб, ніж кількість насосів. Кількість усмоктувальних ліній у цьому разі на насосних станціях I та II категорій надійності дії, незалежно від кількості груп насосів, зокрема пожежних, має бути не менше двох.

Під час вимикання однієї лінії інші повинні бути розраховані на пропуск повної витрати для насосних станцій I та II категорії надійності дії і 0,7 розрахункової витрати для станцій III категорії.

Улаштування однієї усмоктувальної лінії допускається на насосних станціях III категорії надійності дії або на протипожежних насосних станціях за умови установки одного робочого пожежного насоса.

В окремих випадках, за необхідного економічного обґрунтування, насосні станції систем водопостачання можуть мати таку кількість усмоктувальних ліній, що перевищує кількість встановлених насосів.

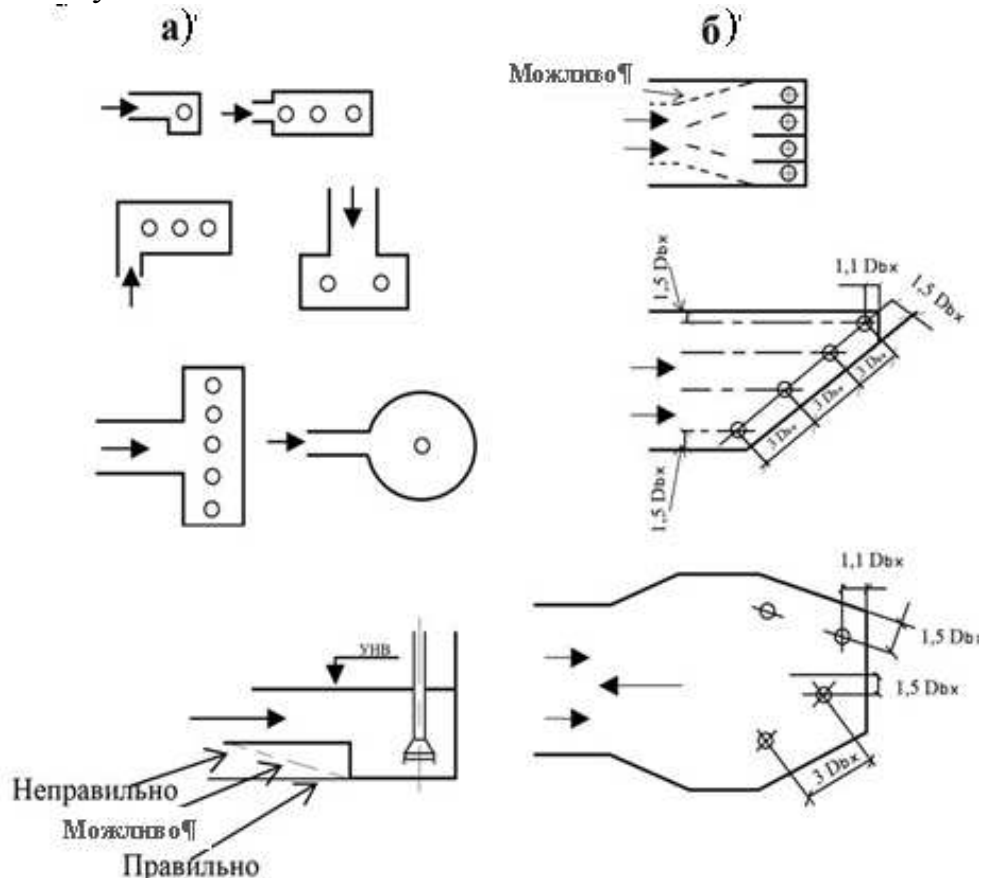


Рисунок 2.33 – Неправильне (а) та правильне (б) розташування всмоктуючих патрубків в приймальній камері

У разі, якщо кількість усмоктувальних трубопроводів менша за кількість встановлених насосів для забезпечення забору води будь-яким насосом, трубопроводи поєднують колектором з перемикаючими засувками.

Усмоктувальні трубопроводи як усередині будівлі насосної станції, так і поза нею звичайно виконують зі сталевих труб на зварюванні, із застосуванням фланцевих з'єднань лише для приєднання до арматури і насосів.

Над поверхнею землі усмоктувальні трубопроводи вкладають на опори, під час установлення яких необхідно враховувати товщину шару порушеної структури ґрунту та глибину промерзання. Відстань між опорами визначається шляхом статичного розрахунку труби як нерозрізної багатопрогонової балки.

Усмоктувальні трубопроводи, що проходять у траншеях, вкладають на підготовлений грубозернистий пісок товщиною 5–10 см, шар щебеню або дрібного гравію. Зовнішню поверхню трубопроводів вкривають бітумною гідроізоляцією. Потім трубопроводи засипають ґрунтом.

У складних геологічних умовах або у разі розміщення усмоктувального трубопроводу в тілі греблі з місцевих матеріалів усмоктувальні трубопроводи вкладають у спеціальній галереї.

Під час використання на насосних станціях як основних потужних агрегатів ($Q > 2 \text{ м}^3/\text{с}$) відцентрових й осьових насосів (типів В, О і ОП) підведення води до них для зменшення втрат напору здійснюється за допомогою вигнутих усмоктувальних труб відносно складної форми, які влаштовують у бетонному блоці підводної частини будівлі. Кількість усмоктувальних труб у цьому випадку дорівнює кількості встановлених насосів. Форма й розміри труб встановлюються заводом – виготовлювачем насосів.

Напірні трубопроводи є гідротехнічними спорудами, які транспортують воду, що перебуває під тиском (напором), від насосів до очисних споруд, технологічних установок або безпосередньо до споживача. У сучасній практиці будівництва водопровідних насосних станцій застосовують трубопроводи будь-яких діаметрів – від 0,1 до 8 м, які розраховані на напір води від декількох метрів до сотень метрів водяного стовпа. Схема компонування, конструктивне рішення й матеріал напірних трубопроводів, крім їхнього призначення, розмірів і довжини, в значній мірі залежать від розташування – усередині або поза будинком насосної станції.

Вартість *зовнішніх* напірних трубопроводів внаслідок їхньої великої довжини (що сягає в ряді випадків 100 км і більше), складності прокладування траси та допоміжних споруд й устаткування може значно перевищувати вартість насосної станції.

Внутрішньостанційні напірні трубопроводи зазвичай обладнані зворотним клапаном, засувкою й витратоміром, призначені для подачі води від насосів до зовнішніх напірних трубопроводів [1–3].

У системах водопостачання зазвичай влаштовують два напірних трубопроводи і тільки зрідка три й більше. Кількість встановлюваних на станції насосів, таким чином, перевищує кількість ниток трубопроводів, і тому виникає необхідність у влаштуванні збірних колекторів. Розміщення засувок на колекторі й напірних трубопроводах (внутрішньостанційних і зовнішніх) повинне забезпечувати можливість заміни або ремонту кожного з насосів, зовнішнього напірного трубопроводу, зворотних клапанів та основних засувок

під час безперервної подачі води на господарсько-питні потреби в розмірі, передбаченому категорією надійності дії насосної станції.

На практиці застосовується багато різних способів колекторного перемикавання напірних трубопроводів усередині великих водопровідних насосних станцій. Залежно від числа агрегатів, типу основних насосів і класу надійності дії станції можлива велика кількість варіантів.

Практично безперебійності в подачі води можна домогтися шляхом установа двох колекторів або застосування кільцевої системи з'єднання насосів.

Схеми внутрішньостанційних комунікацій напірних трубопроводів з колекторами та великою кількістю засувок вимагають значного збільшення розмірів будівлі насосної станції й, отже, призводять до подорожчання її будівельної вартості. Істотного зменшення ширини будівлі можна домогтися розміщенням арматури насоса на вертикальній ділянці напірного трубопроводу, внаслідок чого збірний колектор розташовується значно вище насосів (рис. 2.34). Збільшення висоти будинку станції у цьому разі неминуче і дає змогу застосовувати це компоновання лише для заглиблених насосних станцій шахтного типу.

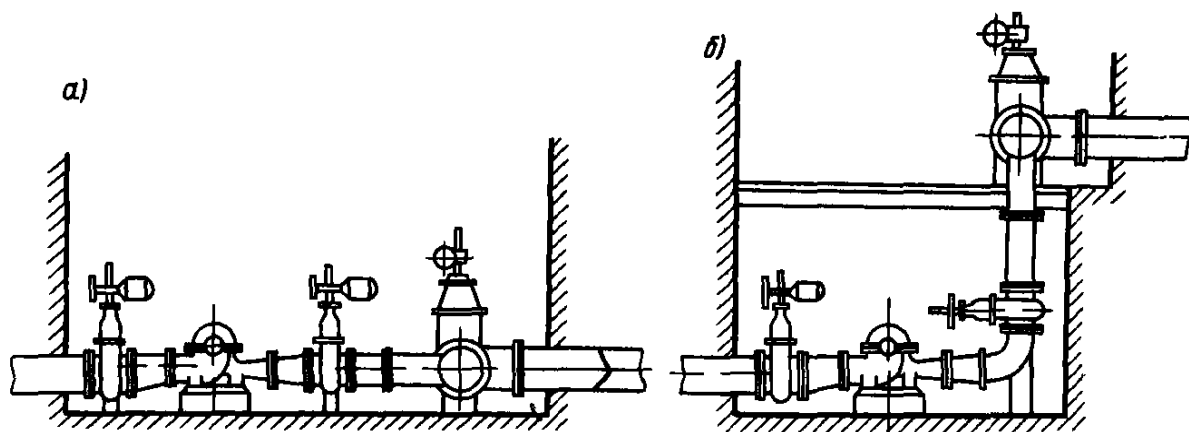


Рисунок 2.34 – Горизонтальне й вертикальне компоновання напірних внутрішньостанційних трубопроводів

Для наземних і частково заглиблених насосних станцій більш прийнятним є розміщення напірного колектора із засувками в окремому приміщенні, що прилягає до стіни будинку насосної станції.

Остаточний вибір схеми компоновання й розміщення внутрішньостанційних напірних трубопроводів повинен виконуватися на базі техніко-економічного співставлення всіх можливих варіантів.

Швидкість руху води в напірних внутрішньостанційних трубопроводах приймають такою: 1–1,5 м/с – для труб діаметром до 250 мм; 1,2–2 м/с – для труб діаметром від 300 до 800 мм; 1,8–3 м/с – для труб діаметром більше 800 мм.

Щоб уникнути великих гідравлічних втрат, швидкість руху в напірних трубопроводах повинна бути не більше 1,5 м/с. Однак для зменшення діаметра засувок, що за їх великої кількості сприятливо позначається на вартості

внутрішньостанційних комунікацій, діаметр трубопроводів зменшують, збільшуючи швидкість до 3 м/с.

Під час вибору розрахункових швидкостей, які належать до діапазону, необхідно враховувати, що в ряді випадків, наприклад у разі вмісту у воді зважених наносів, економічно доцільно збільшити діаметр трубопроводів. Загальне правило, якого потрібно в цьому разі дотримуватися, полягає в плавному зменшенні швидкості течії води від напірного патрубку насоса до зовнішнього напірного трубопроводу.

Трубопроводи усередині будівлі насосної станції звичайно прокладають зі стандартних сталевих труб з навареними фланцями для з'єднання з фасонними частинами і арматурою. Зовнішню поверхню труб після відповідної підготовки фарбують. Кольори фарби для напірних і всмоктувальних ліній повинні бути різними.

2.10 Механічне обладнання

Щоб забезпечити монтаж і демонтаж насосних агрегатів, арматури, трубопроводів та іншого устаткування, а також для технологічних операцій із затворами на станціях застосовуються стаціонарні й мобільні підйомно-транспортні засоби. В якості підйомно-транспортних засобів використовуються триноги, козли, балки з таями, кран-балки, крани (мостові, козлові) і автокрани.

Триноги і козли з таями встановлюють для підняття деталей невеликої маси, ними можна транспортувати вантаж тільки у вертикальному напрямку. Балки з таями дають змогу транспортувати вантаж уздовж монорейки. Кран-балки, підвісні й мостові крани найбільш маневрені, ними можна піднімати вантаж і транспортувати його в усі зони приміщення. Козлові крани і автокрани використовуються поза приміщеннями.

Вантажопідйомний засіб для стаціонарної установки обирають за максимальною масою деталі, що піднімають. Якщо маса найбільшої деталі невідома, у попередніх розрахунках за розрахункову приймають загальну масу машини. Тип кранового обладнання залежить від конструкції будинку насосної станції. В будівлях без каркасу насосних і повітродувних станцій використовуються підвісні кран-балки. Вони дають змогу виконувати операції, аналогічні операціям, які виконані мостовим краном, але для них не потрібно пристроювати підкранові колії, що спрощує конструкцію будівлі. Для мостових кранів будівлю уздовж стін обладнують підкрановими коліями, які опираються на консолі залізобетонних колон або на цегельні пілястри. Для орієнтовного вибору підйомно-транспортних засобів для насосних і повітродувних станцій можна користуватися таблицею 2.6.

Якщо маса деталі, яку піднімають, більше 3...5 т і транспортують її на більші відстані, кранове обладнання повинне бути з електрифікованим приводом. Більш докладні характеристики підйомно-транспортного устаткування наведені в [19].

Таблиця 2.6 – Підйомно-транспортне обладнання насосних станцій

Максимальна маса вузла, т	Тип підйомного механізму або крана	Довжина прогону, м	Примітка
до 0,5	Триноги, козли, балки з таями	–	За кількості насосів до 3
0,5...5	Підвісні кран-балки	3...12	У спорудах без каркаса
0,5...10	Мостові однобалкові	5...11	За кількості насосів більше 4
5...20	Мостові двобалкові	8...17	Те ж
5...50	Мостові загального призначення	11...32	–

2.11 Допоміжне устаткування

Арматура трубопроводів. На насосних і повітродувних станціях використовується така арматура: запірно-регулююча (засувки, вентилі, затвори); запобіжна (клапани, гасителі енергії гідравлічного удару, компенсатори тощо); контрольно-вимірювальна (водоміри, манометри, вакуумметри, термометри).

Засувки застосовуються для повного або часткового перекриття трубопроводів з метою регулювання подачі. Залежно від конструкції запірного пристрою вони можуть бути двох типів: клинові й паралельні (рис. 2.35–2.36).



Рисунок 2.35 – Клинова фланцева засувка з гладким прохідним каналом

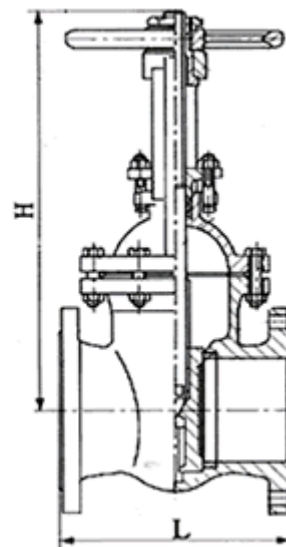


Рисунок 2.36 – Засувка паралельна дводискова чавунна

У клинових засувках (рис. 2.35) запірна деталь – диск – має форму клина, внаслідок чого, у разі зусилля з боку шпинделя, щільно притискається до гнізд корпуса. На диску й гніздах є ущільнюючі кільця. У паралельних засувках (рис. 2.36) прохідний перетин корпуса перекривається двома рухливо з'єднаними між собою дисками, які розсовуються одним або двома

розташованими між ними клинами. Ущільнюючі кільця дисків і гнізд корпуса паралельні між собою [35, 36].

Засувки можуть бути з висувними і невисувними шпинделями. У перших – нерухома гайка, у якій обертається шпindel, розташована в кришці засувки, і під час відкривання шпindel виходить назовні, захоплюючи запірний диск. У других – гайка шпинделя перебуває в запірному диску, і шпindel, обертаючись у нерухомих напрямних підшипниках, переміщує гайку й запірний диск. Засувки з висувним шпинделем менш зручні, тому що для їхнього розміщення потрібні приміщення великої висоти, а під час використання не задовольняються гігієнічні умови. З огляду на це використовувати їх на водопровідних станціях не бажано.

Вітчизняною промисловістю випускаються засувки з діаметром умовного проходу 50... 1 650 мм.

Засувки можуть бути із ручним і механізованим приводом. Ручні приводяться в дію від маховика, а механізовані мають електричний (рис. 2.37) або гідравлічний привод. Для полегшення керування засувкою діаметром 400 мм і більше повинні бути забезпечені механічним приводом, а на автоматизованих станціях – незалежно від діаметра.

У момент відкривання засувок великого розміру, а також малих засувок, за наявності великих тисків на запірний диск (з напірної сторони), діють більші сили тиску, що спричиняє значні зусилля, необхідні для їхнього відкривання. Щоб розвантажити привод, який перекриває порожнини таких засувок, їх з'єднують обвідною трубою (байпас) із засувкою малого розміру, яку відкривають перед відкриванням основної.

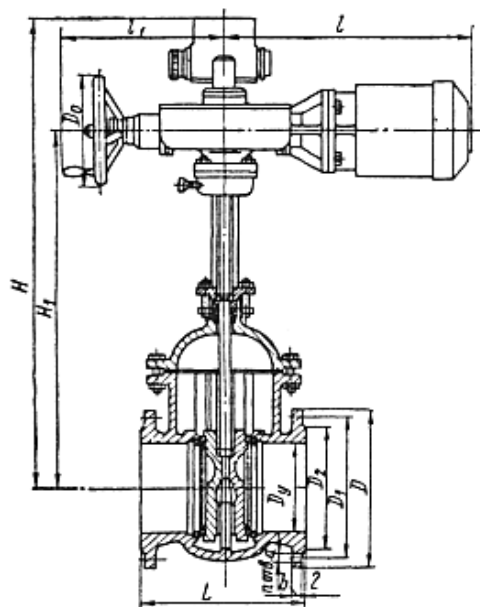


Рисунок 2.37 – Паралельна засувка з електричним приводом

У порівнянні з іншими видами запірних пристроїв, засувки використовуються частіше. Однак вони мають істотні недоліки – великі габарити й масу. Так, наприклад, для засувки з $D_y = 1\,200$ мм, розрахованої на

$p=1$ МПа, висота (від осі до верхньої точки) становить 3 295 мм, а маса – 8 130 кг.

Дискові поворотні затвори (рис. 2.38) мають низку позитивних властивостей, головними з яких є малі габарити й значно менша, ніж у засувки, маса. Дисковий затвор з $D_y = 1\,200$ мм, розрахований на $p = 1$ МПа, має висоту 1 900 мм і масу 3 220 кг.

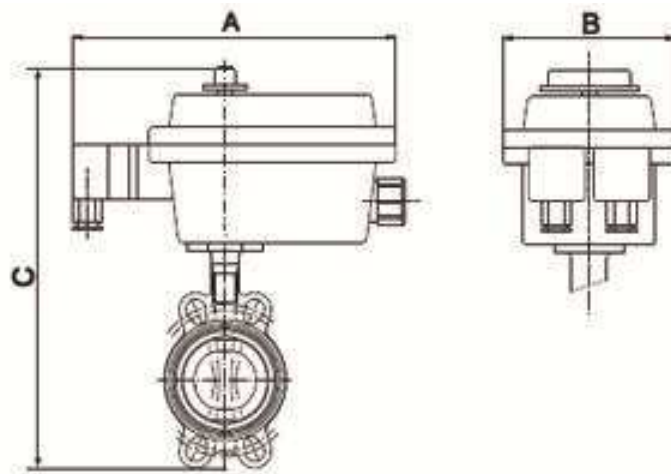


Рисунок 2.38 – Дисковий поворотний затвор з електроприводом

Принцип роботи дискового поворотного затвора полягає в тому, що диск, притиснутий до ущільнюючої поверхні сідла усередині корпусу, перекриває шлях потоку середовища; у разі повороту диска на 90° рідке середовище вільно проходить через затвор. У порівнянні зі звичайними засувками, дискові поворотні затвори мають великий опір. Затвори, що випускаються вітчизняною промисловістю, мають ручний, електричний, гідравлічний або комбінований привод. Дискові поворотні затвори виготовляють із ручним приводом ($D_y = 100\ldots600$ мм) і з електроприводом ($D_y = 300\ldots2\,400$ мм).

Найбільш доцільно використовувати дискові затвори для водоводів і повітроводів великих діаметрів, а також – як запірно-регулюючу арматуру на повітродувних станціях.

Зворотні дискові поворотні клапани на насосних станціях встановлюються між насосом і першою засувкою на напірній стороні. Вони призначені для запобігання зворотного струму середовища, що перекачують, через напірний трубопровід.

В однодисковому зворотному поворотному клапані (рис. 2.39) запірний диск на важелі вільно підвішений до корпусу. Під час прямого струму рідкого середовища він вільно відкривається і підтримується потоком у такому положенні. У момент відключення машини диск під власною вагою опускається, а внаслідок сили тиску з напірної сторони притискається до опорної поверхні сідла клапана, перешкоджаючи зворотному струму середовища.

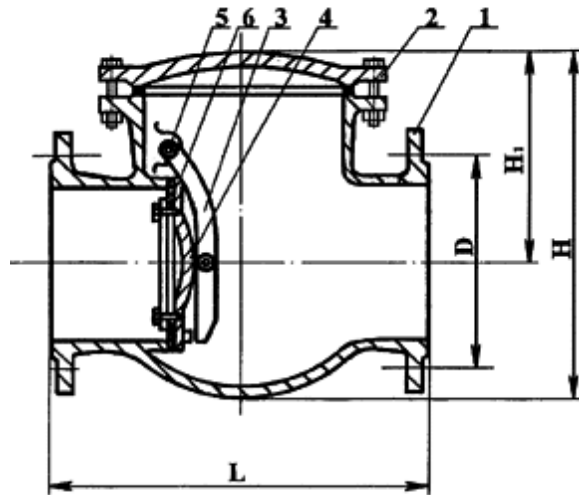


Рисунок 2.39 – Клапан зворотний поворотний:

- 1 – корпус;
- 2 – кришка для закриття горловини корпусу;
- 3 – важіль;
- 4 – диск;
- 5 – вісь важеля;
- 6 – гумове кільце

Зі збільшенням розмірів зворотного клапана маса поворотного диска значно зростає, що спричиняє різке збільшення опору клапана. У такому випадку використовують багатодискові зворотні поворотні клапани (рис. 2.40). Вітчизняною промисловістю випускаються зворотні поворотні клапани однодискові ($D_v = 50 \dots 600$ мм на $p = 1 \dots 4$ МПа), багатодискові ($D_v = 800 \dots 1\,000$ мм на $p = 1 \dots 2,5$ МПа). За індивідуальним замовленням клапани можуть бути виготовлені й для більших діаметрів.

Недолік однодискових і багатодискових зворотних клапанів у тому, що їхнє закривання на насосних станціях під час раптової зупинки насоса спричиняє гідравлічні удари, тому під час їхнього використання варто здійснювати перевірочний розрахунок на гідравлічний удар й оцінювати можливі його наслідки.

Останнім часом найчастіше застосовуються *безударні зворотні клапани* (рис. 2.41). Диск-захлопка цих клапанів закріплений усередині корпусу на осях, трохи зміщених щодо центральної осі. Внаслідок цього його посадка під час закривання пом'якшується й не спричиняє гідравлічного удару. Клапан відкривається під час подачі води під тиском й утримується в такому положенні в потоці за допомогою піднімальної сили.

Промисловістю випускаються безударні клапани чотирьох типів діаметром від 50 до 2 200 мм [37].

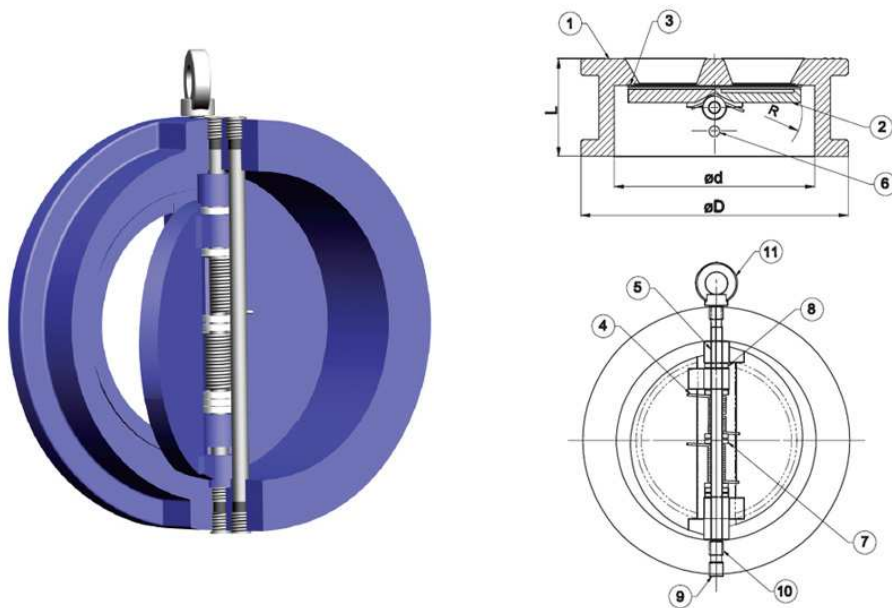


Рисунок 2.40. – Дводисковий зворотний клапан:

- 1 – корпус;
- 2 – заслонка;
- 3 – сідло;
- 4 – пружина;
- 5 – штир петлі;
- 6 – штир-фіксатор;
- 7 – опора диску;
- 8 – опора корпусу;
- 9 – пробка;
- 10 – обмежувач;
- 11 – рим-болт

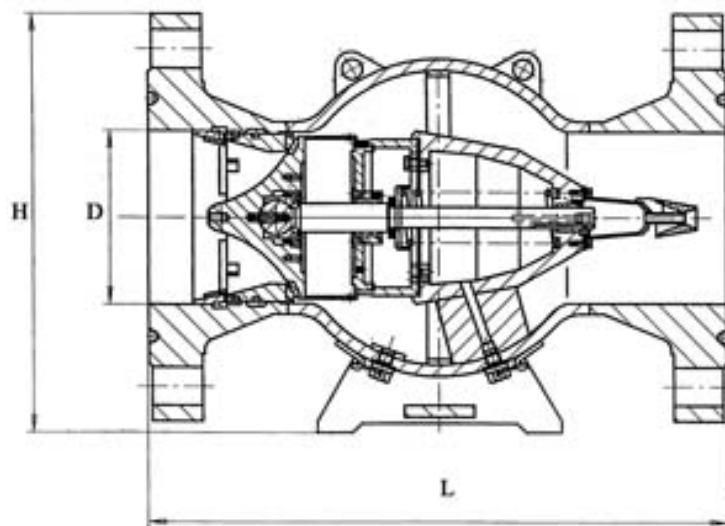


Рисунок 2.41 – Клапан зворотний безударний K41122-150 під приварювання

Зворотні прийомні клапани (рис. 2.42) встановлюють на прийомних кінцях усмоктувальних труб насосних станцій для утримання середовища, що перекачують, на період зупинки насоса. Якщо усмоктувальні труби й насоси перед запуском заповнюються середовищем, що перекачують за допомогою

вакуумної системи, на місце зворотного прийомного клапана встановлюють відкритий прийомний конус.

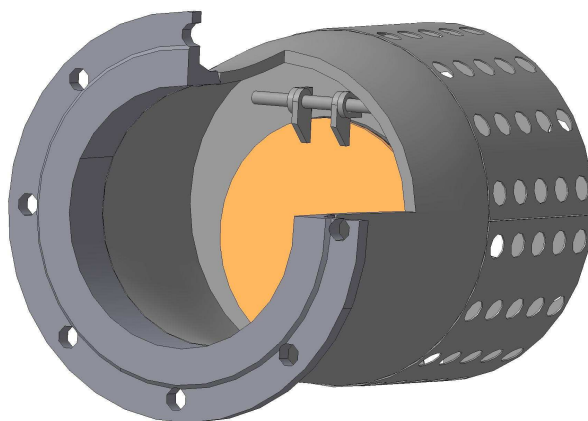


Рисунок 2.42 – Клапан зворотний приймальний 16ч42р

Зворотні прийомні клапани виготовляються з діаметром умовного проходу до 200 мм. За більших діаметрів зворотні прийомні клапани мають великий опір і установка їх небажана [38].

Запобіжні клапани застосовуються на напірних трубопроводах для запобігання їх розриву у разі можливого гідравлічного удару.

На компресорно-повітродувних станціях запобіжні клапани встановлюють на проміжних і кінцевих холодильниках, на лініях скидання повітря тощо. До таких клапанів належать пружинні, важільні, а також спеціальні гасителі удару тощо. Необхідність їхнього використання повинна бути підтверджена розрахунком.

Водоміри на станціях використовують для обліку обсягу середовища, що перекачують. Для виміру обсягу рідкого середовища, що не має механічних включень, за відносно невеликих її витрат застосовують турбінні водолічильники (рис. 2.43) або витратоміри змінного перепаду тиску. В якості звужуючих пристроїв таких водомірів використовуються діафрагми (рис. 2.44), сопла Вентурі (рис. 2.45) та нормальні сопла (рис. 2.46). Звужуючий пристрій спричиняє місцевий перепад тиску, що залежить від середньої швидкості потоку, а отже, і від витрати [39].

Звужуючі пристрої характеризуються коефіцієнтом відносного звуження потоку:

$$m = (d/D)^2, \quad (2.23)$$

де d – діаметр звужуючого пристрою, м;

D – діаметр труби, що підводить, м.

Усі звужуючі пристрої нормалізовані. Для діафрагм стандартні значення m – 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; для сопел і труб Вентурі – 0,2; 0,4.

Втрати напору в звужуючому пристрої визначають за формулами:

– для діафрагм:

$$h_{\text{вт}} = \frac{V^2}{2g} \left(\frac{1}{m^2} - 1 \right) (1 - m); \quad (2.24)$$

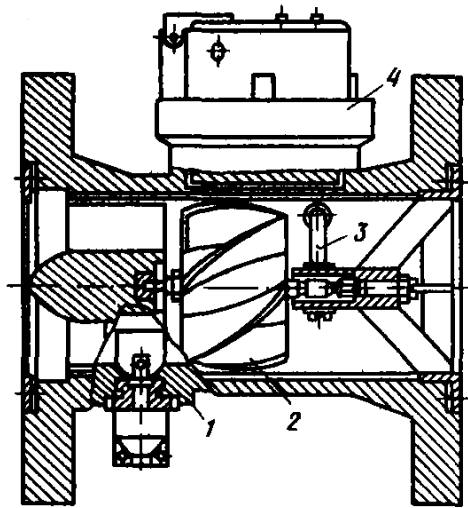


Рисунок 2.43 – Швидкісний турбінний водолічильник типу ВВ

- 1 – корпус;
- 2 – вертушка;
- 3 – передача;
- 4 – лічильний механізм

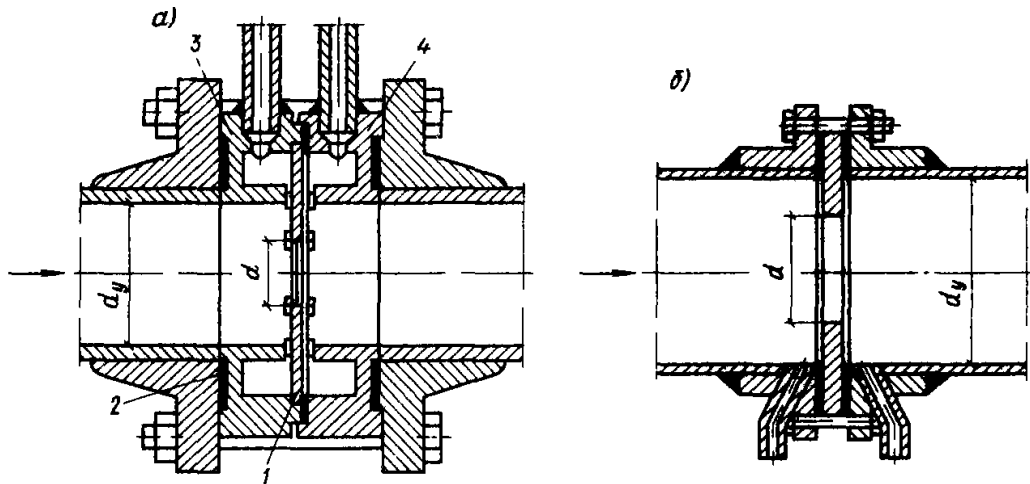


Рисунок 2.44 – Діафрагми нормальні, змонтовані в трубопроводах

- а – камерні;
- б – дискові;
- 1 – діафрагма;
- 2 – прокладка;
- 3 – камера «+»;
- 4 – камера «-»

– для сопел:

$$h_{\text{вм}} = \frac{V^2}{2g} \left(\frac{1}{m^2} - 1 \right) (1 - 1.4m); \quad (2.25)$$

– для водомірів Вентурі:

$$h_{\text{вм}} = 0,14 \frac{V^2}{2g} \left(\frac{1}{m^2} - 1 \right) (1 - m), \quad (2.26)$$

де V – середня швидкість потоку на підході до водовимірювача, м/с.

Звужуючий пристрій підбирають за припустимими втратами напору, які приймають у діафрагмах – 1...2 м, у соплах і трубах Вентурі – 0,7...1,5 м. За стандартних значень m , за формулами (2.24) – (2.26) підраховують втрати напору й підбирають тип звужуючого пристрою. Чим менше m , тим більший діапазон виміру витрати.

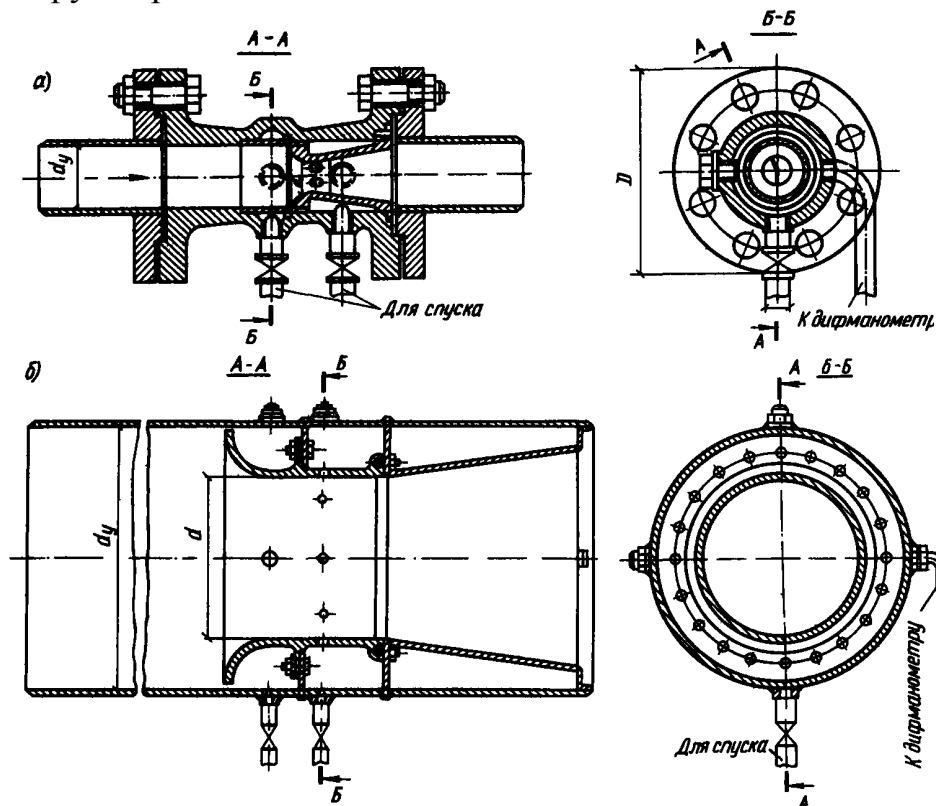


Рисунок 2.45 – Сопла Вентурі

- а) діаметром до 500 мм;
- б) діаметром вище 500 мм

Приладобудівними заводами випускаються звужуючі пристрої з розмірами діафрагми $d = 50...3\,000$ мм, сопла $d = 50...1\,400$ мм, труби Вентурі $d = 200...1\,400$ мм.

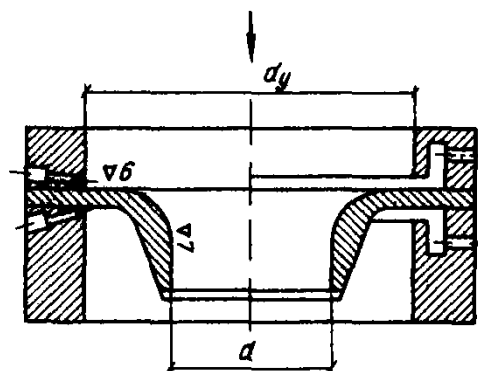


Рисунок 2.46 – Сопло нормальне

Витратомір встановлюється на прямій ділянці трубопроводу, довжина якого залежить від виду водоміра, коефіцієнта звуження, виду місцевих опорів. Довжина ділянки за водоміром повинна бути не менше $5D$.

На насосних станціях витратоміри встановлюють на нагнітальних трубопроводах; на повітродувних станціях звужуючі пристрої кріплять до вхідних фланців усмоктувальних труб.

Для безперервного виміру витрати середовища застосовують самописні вторинні прилади.

Манометри і вакуумметри призначені для виміру тиску середовища. На напірній стороні кожного насоса монтується механічний манометр, а на усмоктувальній стороні – вакуумметр. Якщо робота насоса характеризується змінною висотою усмоктування, яка змінюється від негативних до позитивних значень, на усмоктувальній стороні варто встановлювати механічний мановакуумметр. Манометри розміщуються або безпосередньо в місцях відбору тиску, або дистанційно, з виносом приладу на загальний пульт керування.

На каналізаційних насосних станціях манометри підключаються через спеціальну розділову камеру, що запобігає потраплянню стічної рідини в прилад.

Обладнання для заливання насосів перед їхнім запуском. Якщо робота насоса характеризується позитивною геометричною висотою усмоктування, пристрій, що усмоктує, відсутній, перед запуском його корпус і усмоктувальна труба повинні бути заповнені середовищем, що перекачується. Для цього є кілька способів [39].

Заливання насосів з напірного трубопроводу (рис. 2.47, а) відбувається у випадку, якщо в напірному трубопроводі постійним є надлишковий тиск. До того ж існує необхідність установа зворотного прийомного клапана, що знижує висоту усмоктування насоса. Такий спосіб заливання простий і може бути використаний для насосів з діаметром усмоктувальних труб не більше 200–250 мм.

Заливання насосів з резервного напірного бака (рис. 2.47, б) застосовується тоді, коли під час зупинки насоса в напірному трубопроводі немає надлишкового тиску. Резервний бак заповнюється середовищем, що перекачується, через поплавковий клапан у період роботи насоса. У разі такого способу заливання необхідно встановити зворотний прийомний клапан.

Заливання спеціальним насосом (рис. 2.47, в) використовується за відсутності на насосній станції джерела середовища, що заливається з позитивним надлишковим тиском. Для цього встановлюється насос невеликих розмірів таким чином, щоб він увесь час мав негативну висоту усмоктування. Спосіб надійний, процес керування насосом легко автоматизується. У цьому випадку потрібно встановити зворотний прийомний клапан.

Усі розглянуті вище способи заливання насосів можуть бути використані на водопровідних насосних станціях або на каналізаційних станціях, що перекачують стоки без механічних забруднень.

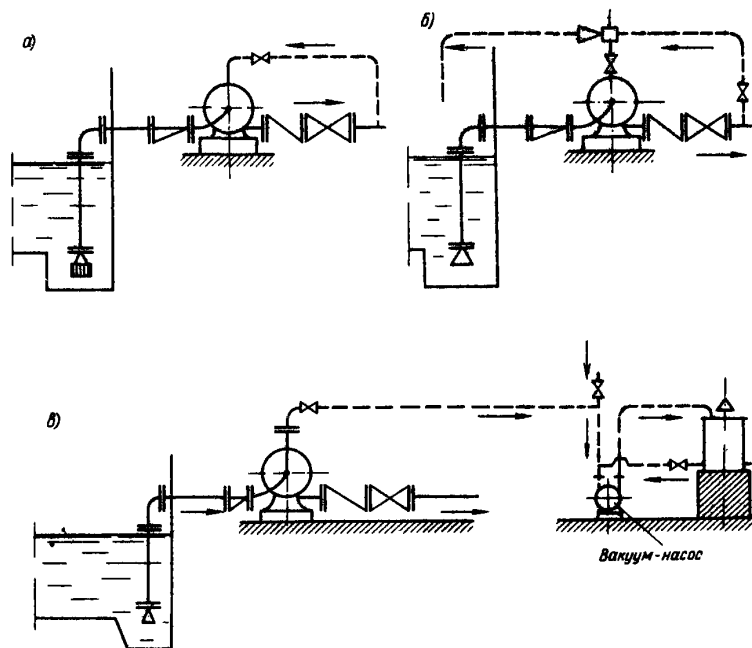


Рисунок 2.47 – Схеми заливання відцентрових насосів

Заливання за допомогою струминного насоса здійснюється в такий спосіб. Усмоктувальна лінія струминного насоса підключається у верхній точці до корпусу насоса, що заливається. Робоче рідке середовище до струминного насоса підводять від напірного трубопроводу або від спеціального насоса (в окремих випадках робочим тілом може бути пара або стиснене повітря). У разі, якщо засувка закрита, вакуумметричний тиск, що створюється струминним насосом на напірній стороні, поширюється на корпус і усмоктувальну трубу насоса, що заливається. Заповнення їх рідким середовищем відбувається через усмоктувальну трубу насоса. Цей спосіб використовують для заливання середніх і великих насосів. Зворотний прийомний клапан не потрібний.

Для заливання вакуумним насосом на насосній станції монтують загальну вакуумну установку, до якої підключають усі насоси, що вимагають заливання перед пуском. Вакуумметричний тиск у системі створюється вакуумними насосами, серед яких поширені водокільцеві.

Вакуумні насоси для установки підбирають за подачею [39]:

$$Q_v = \frac{(W_{TP} + W_H) H_{атм}}{t(H_{атм} - H_{г.ус})} k, \quad (2.27)$$

де W_{TP} і W_H – відповідно обсяг усмоктувального трубопроводу і корпусу насоса, м³;

$H_{атм}$ – атмосферний напір, який дорівнює 10 м;

$H_{г.ус}$ – геометрична висота усмоктування, м;

t – час, необхідний для створення розрахункового розрідження, хв (відповідно до інструктивних вказівок приймається не більше 2 хв для протипожежних насосів і до 3...5 хв при заповненні насосів іншого призначення);

k – коефіцієнт запасу, що враховує можливість підсмоктування повітря, $k = 1,05...1,1$.

На насосних станціях встановлюють два насоси з одним циркуляційним бачком. Один з них є резервним. Вода, що надходить у циркуляційний бачок, не повинна містити механічних домішок.

На каналізаційних насосних станціях, щоб виключити можливе потрапляння забрудненої рідини у вакуумні насоси, вакуумпровід розділяють проміжним баком.

Насосні установки господарсько-питного і технічного водопостачання на власні потреби. *Господарсько-питний водопровід* на насосних станціях передбачають у випадку, якщо на них постійно перебуває черговий обслуговуючий персонал. Обсяг господарсько-питного водопостачання насосних станцій невеликий, а пристрій водопроводу залежить від місцевих умов. Якщо насосна станція розміщується в межах населеного пункту, неподалік від водогінної мережі, вода від цієї мережі підводиться до насосної станції. Якщо ж станція розміщується далеко від загальної системи водопроводу, питання організації водопостачання вирішується з урахуванням місцевих умов: на водопровідних насосних станціях другого підйому місцевий господарсько-питний водопровід підключається до напірних трубопроводів основних насосів через клапани або діафрагми, які знижують напір; на станціях першого підйому й на каналізаційних насосних станціях влаштовують місцевий водопровід з індивідуальним джерелом (свердловина або шахтний колодязь).

Технічне водопостачання насосних станцій необхідне для того, щоб забезпечити змащення й охолодження підшипників, охолодження електродвигунів, силових трансформаторів (з водяним охолодженням), а також для підтримки приміщень у належному санітарному стані. На каналізаційних насосних станціях технічна вода, крім того, використовується для промивання прийомного резервуара та мулопроводу. Вода для технічного водопостачання повинна бути хімічно чистою, без механічних домішок. Якщо взяти воду з напірних трубопроводів основної системи для пристрою технічного водопроводу неможливо (або якщо вода в ній не задовольняє вимоги), передбачається система місцевого технічного водопроводу на базі поверхневого або підземного джерела. Для цієї мети найчастіше використовують відцентрові насоси типу К, їх, з урахуванням резерву, повинно бути не менше двох.

Дренажні й маслonaпірні установки. *Дренажна система* з насосною установкою використовується на заглиблених і шахтних насосних станціях для відливу води, що фільтрується через захисні конструкції і витікає на підлогу машинного залу через нещільності сальників насосів і арматури. Підлога машинного залу або найнижчого підвального приміщення, а також всі канали для трубопроводів, робляться з ухилом $i \geq 0,005$ у бік зовнішніх стін. За периметром приміщення влаштовують водовідвідний лоток з ухилом до дренажного колодязя, звідки вода, накопичуючись, відводиться за межі насосної станції (у каналізацію, нижній б'єф і тощо). Обсяг дренажного колодязя має дорівнювати 10–15-хвилинній подачі насоса дренажної установки.

Для дренажної насосної установки використовують вихрові насоси, що самі усмоктують (один робочий і один резервний). Через те, що не можливо

точно визначити фільтраційні й краплинні витрати води, насоси для дренажних установок обирають за практичними даними: для невеликих станцій – $Q_{др} = 1$ л/с; для середніх – $Q_{др} = 3,5...5$ л/с; для великих – $Q_{др} = 10$ л/с. Дренажна насосна установка повинна бути автоматизованою.

Маслонапірні установки на насосних і повітрорудних станціях забезпечують роботу системи змащення основних агрегатів і автоматики керування допоміжним обладнанням. Маслонапірна система передбачає насосну установку, мастилопроводи різного призначення, маслобаки, охолоджувачі масла та контрольно-вимірювальну апаратуру. Для системи змащення й автоматики використовують рідкі мінеральні масла, марка яких встановлюється заводом-виготовлювачем обладнання. У процесі експлуатації мінеральні масла втрачають необхідні властивості, що відповідають ДСТ, тому для них встановлюються такі строки роботи: у системах змащення – 500...800 год, у системах автоматики – 1 200...1 500 год. Крім експлуатаційного масла, тобто масла, що перебуває в оберті системи, на станції одночасно може перебувати масло свіже (яке не було в роботі), регеноване (властивості якого відновлені до вимог ДСТ) і відпрацьоване. Для кожного з масел необхідно передбачити окрему ємність. Для маслонапірної установки найчастіше використовують шестеренні насоси.

Контрольні запитання до розділу 2

1. Наведіть класифікацію насосних станцій водопостачання.
2. Наведіть основні схеми насосних станцій першого підйому з забором води з поверхневого джерела.
3. Як визначити подачу і напір насосної станції першого підйому?
4. За яким принципом обирається основне та резервне обладнання на НС I і визначається розміщення й подача протипожежних насосів?
5. Наведіть основні схеми розміщення насосного обладнання на НС I.
6. На чому базуються основні принципи проектування всмоктуючих та напірних ліній НС I?
7. Наведіть основні типи підземної та наземної частини насосних станцій НС I.
8. Наведіть основні схеми насосних станцій першого підйому із забором води з підземного джерела, охарактеризуйте їхній режим роботи.
9. Наведіть схеми конструкцій НС I із забором води зі свердловин.
10. Як визначити продуктивність НС II?
11. Наведіть основні методи визначення напору НС II під час роботи станції в різних режимах та з урахуванням регулюючих споруд.
12. Наведіть основні схеми розміщення насосного устаткування на НС II.
13. За яким принципом обирається основне та резервне обладнання на НС II та визначається розміщення й подача протипожежних насосів?
14. У чому полягають основні принципи проектування усмоктувальних, напірних труб і схем їхніх перемикачів на НС II?

15. Назвіть основне призначення підвищувальних насосних станцій та особливості їхнього влаштування.
16. Назвіть основне призначення циркуляційних насосних станцій та особливості їхнього влаштування.
17. Назвіть основне призначення пересувних насосних станцій та особливості їхнього влаштування.
18. Дайте характеристику основних схем компонування насосних станцій водопостачання.
19. Наведіть приклади неправильного та правильного розміщення усмоктувальних труб у прийомній камері насосної станції.
20. Яке обладнання насосних станцій належить до механічного? Дайте його коротку характеристику.
21. Яке допоміжне обладнання обов'язково має бути передбачене на насосних станціях? У чому полягає його призначення?
22. Які існують системи заливання насосів?
23. У чому полягає призначення технічного водопостачання насосних станцій?

Тестові завдання

1. Назвіть групи насосних станцій залежно від розташування їх у загальній схемі водопостачання.

- А. НС першого підйому. Б. Районні НС. В. Мережні НС.
Г. Підвищувальні НС. Д. НС другого підйому. Е. Циркуляційні НС.

2. Яким призначається режим роботи протягом доби НС першого підйому, якщо вона подає воду з поверхневого джерела?

- А. Рівномірний. Б. Східчастий.
В. Усталений. В. Неусталений.

3. За якою з названих схем розміщують насоси у НС першого підйому?

- А. НС кругла в плані. Б. НС прямокутна в плані.
В. Незаглиблена НС. Г. НС з горизонтальним корпусом.

4. У якому діапазоні знаходяться економічні швидкості у напірних трубопроводах, якщо $d = 300\text{--}800$ мм?

- А. 1,5–4 м/с. Б. 1,0–3,0 м/с.
В. 0,7–1,5 м/с. Г. 7,0–8,0 м/с.

5. Який тип насосів можна використовувати у НС першого підйому, якщо її підземна частина виконана блочною?

- А. Вертикальні відцентрові. Б. Горизонтальні відцентрові.
В. Вертикальні осьові. Г. Поршневі.

6. Які функції виконує НС другого підйому?

- А. Подача води на очисні споруди.
- Б. Подача води на протипожежні цілі.
- В. Подача господарсько-питної води споживачеві.
- Г. Підвищення напору у водопровідній мережі.

7. Які існують розрахункові випадки під час визначення напору НС другого підйому?

- А. Водонапірна башта розташована на початку мережі.
- Б. У годину максимального водоспоживання.
- В. Система з конррезервуаром.
- Г. У годину мінімального водоспоживання і гасіння пожежі.

8. Для чого призначені підвищувальні насосні станції?

- А. Для підвищення подачі.
- Б. Для підвищення напору в мережі.
- В. Для підвищення втрат напору.
- Г. Для підвищення опору трубопроводу.

9. Яке обладнання застосовують для підняття та транспортування устаткування насосної станції під час його монтажу / демонтажу?

- А. Триногу.
- Б. Мостовий кран.
- В. Запобіжну арматуру.
- Г. Кран-балку.
- Д. Таль.
- Е. Запірну арматуру.

10. Які методи застосовують для заливання насосів перед їхнім запуском?

- А. Заливання з напірного трубопроводу.
- Б. Заливання зі всмоктуючого трубопроводу.
- В. Заливання з напірного баку.
- Г. Заливання зі спеціального насоса.

Відповіді до тестових завдань

№ питання	Варіанти правильних відповідей
1	А; Г; Д.
2	А.
3	А.
4	Б.
5	В.
6	Б; В.
7	А; Б; В.
8	Б.
9	А; Б; Г; Д.
10	А; В; Г.

РОЗДІЛ 3

НАСОСНІ СТАНЦІЇ ВОДОВІДВЕДЕННЯ

3.1 Класифікація насосних станцій водовідведення

Каналізаційні насосні станції (КНС) класифікуються за такими ознаками [1–3, 39]:

а) за надійністю дії КНС поділяються на три категорії:

- 1) не допускають перерв або зниження розрахункової подачі стічних вод;
- 2) допускають перерву подачі стічних вод не більше 6 год;
- 3) допускають перерву подачі стічних вод не більше 1 доби.

б) за розташуванням в загальній системі водовідведення КНС можуть бути:

- 1) головні, які розміщують на головних колекторах систем водовідведення для перекачування з них стічних вод на очисні споруди;
- 2) районні – стічні води перекачуються в головний або в розташований поблизу колектор із частини території, яку каналізують (району);
- 3) мережні – розташовані безпосередньо на колекторі, заглиблення якого перевищує припустимі за СНіПом норми, і призначені для підйому стічних вод з нижче розташованого самопливного колектора у вище розташований;
- 4) місцеві – стічні води перекачуються від окремих об'єктів (будинку, споруди, підприємства тощо);

в) за видом стічної рідини, що перекачується, станції поділяють на чотири групи:

- 1) для господарсько-побутових стоків (входять до складу загальної системи водовідведення міста, селища тощо);
- 2) для виробничих стоків (входять до складу систем водовідведення промислових стоків);
- 3) для зливових стоків (входять до складу систем водовідведення атмосферних опадів);
- 4) для перекачування мулу (входять до складу очисних споруд);

г) за характером керування станції поділяються на:

- 1) автоматичні (керовані за допомогою приладів і засобів автоматизації);
- 2) з ручним керуванням (вмикання і вимикання агрегатів здійснюється обслуговуючим персоналом);

д) за конструкцією КНС найчастіше бувають:

- 1) заглибленого й шахтного типу;
- 2) сполучені із прийомним резервуаром або роздільні.

На рисунку 3.1 подані схеми сполученої (б) і роздільної (а) конструкцій, призначені для головних і районних каналізаційних насосних станцій. У переважній більшості ці станції виконуються сполученими, тому що це спричиняє зниження їхньої будівельної вартості та експлуатаційних витрат. Станції роздільного типу застосовуються тільки за відповідного техніко-економічного обґрунтування з обліком санітарних і місцевих геологічних умов.

Схема станції для перекачування зливових стоків подана На рисунку

3.1, з. У більшості випадків зливові каналізаційні станції обладнуються осьовими насосами, тому що надходження атмосферних стічних вод має залповий характер, і для того, щоб забезпечити їхнє відкачування, необхідні насоси з відносно великою подачею. Високого напору в цьому разі не потрібно.

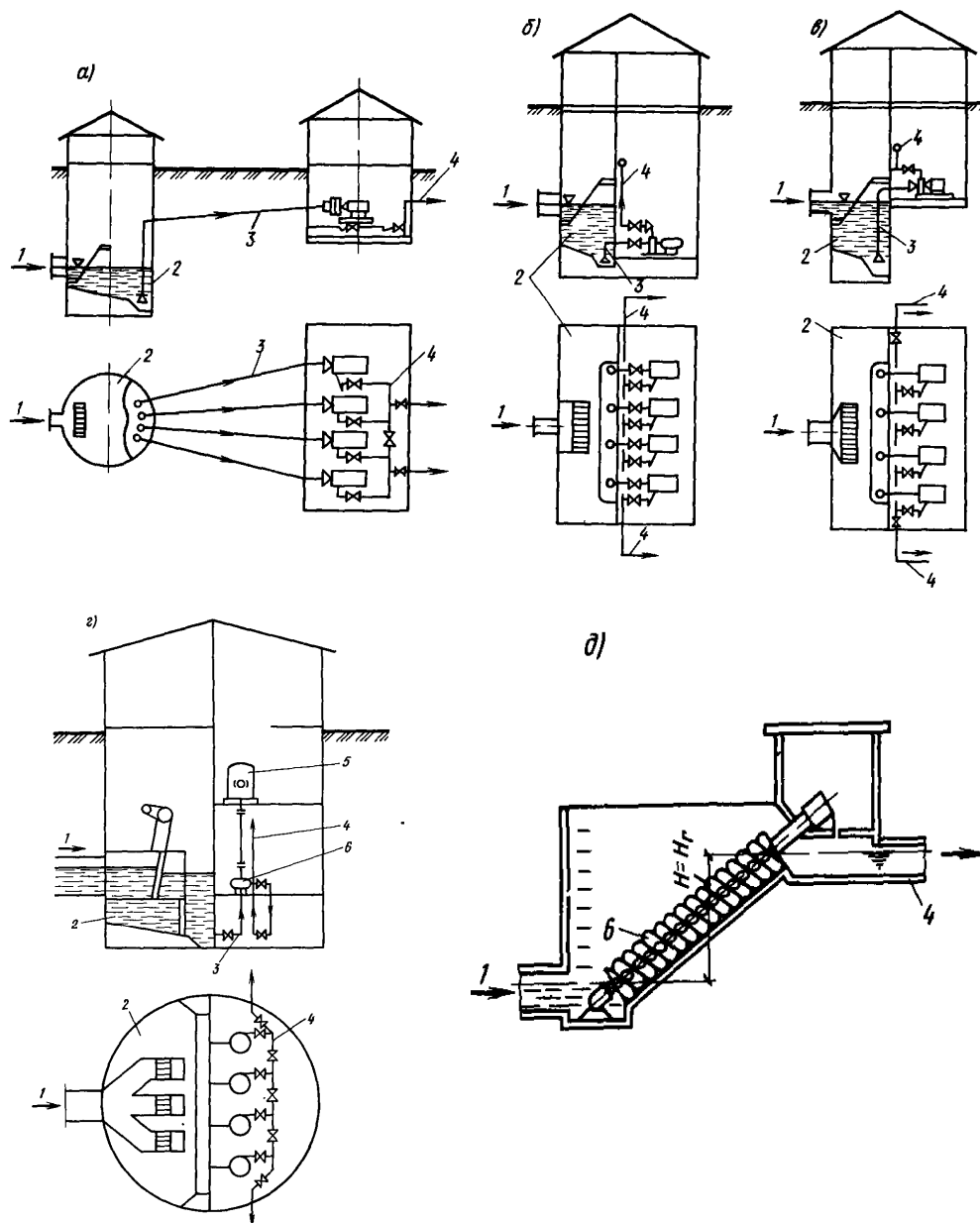


Рисунок 3.1 – Схеми каналізаційних насосних станцій:

а) роздільна; б) сполучена; в) суміщена на скельних ґрунтах; г) шахтна; д) зі шнековими підйомниками;

1 – підвідний колектор;

2 – приймальний резервуар;

3 – всмоктуючі трубопроводи;

4 – напірні трубопроводи;

5 – електродвигун;

6 – насос

На рисунку 3.1, д наведена мережна каналізаційна станція, обладнана шнековими насосами, що значно спрощує конструкцію будівлі. У цьому випадку не потрібно споруджувати приміщення ґрат. Стічні води з нижнього колектора надходять у камеру, що виконує роль регулюючої ємності. В ній же встановлені шнекові насоси, що перекачують стічні води у верхній колектор.

Насосні станції для перекачування мулу й осаду можуть бути обладнані

відцентровими, осьовими, плунжерними або шнековими (для подачі активного мулу в аеротенки) насосами.

3.2 Місця розташування насосних станцій водовідведення

У системах водовідведення з нормальним (5...8 м) закладенням колекторів головну каналізаційну насосну станцію розміщують наприкінці головного самотливого колектора, тобто в найбільш зниженій зоні території, яку каналізують, куди доцільно стічну воду відводити самотливом. Від головної насосної станції всі стічні води, що надходять до неї, перекачуються на очисні споруди напірним водоводом. Місце розташування головної каналізаційної станції призначається з урахуванням можливості пристрою аварійного випуску. У системах водовідведення із глибоким закладенням колекторів головну насосну станцію доцільно розміщувати безпосередньо на майданчику очисних споруд. До того ж зникає необхідність улаштування напірних водоводів значної довжини, що спричиняє зниження потужності та вартості станції [1–3, 39, 40].

Аналогічно до головної обирається місце розташування й районних каналізаційних станцій в межах району, від якого надходять стоки до цієї станції. Якщо під час влаштування самотливого колектора, що підводить воду до головної або районної насосної станції, зустрічаються природні (річка, яр тощо) або штучні перешкоди, станцію варто розташовувати до перешкод. Це дасть змогу скоротити капітальні витрати, тому що вартість будівництва (на одиницю довжини) напірного водоводу завжди менша, ніж самотливого колектора або спеціальної споруди (наприклад дюкеру).

Головні й районні каналізаційні станції варто розміщувати поза зоною забудови житлових кварталів. Якщо ж вони перебувають у житловій зоні, між житловими будинками і будинком каналізаційної насосної станції має бути передбачений санітарний розрив 20...25 м із захисними зеленими насадженнями.

Місця розташування насосних станцій для перекачування стічних вод у кожному випадку повинні бути узгоджені з органами санітарно-епідеміологічної служби.

У будівлях насосних станцій, розташованих у затоплюваній місцевості, відмітки порогів їхніх входів повинні бути не менше ніж на 0,5 м вище рівня нагону вітрової хвилі за максимального горизонту паводкових вод забезпеченістю 3 %.

Мережні каналізаційні станції розміщують на самотливих колекторах у місцях, де подальше заглиблення колектора стає економічно недоцільним.

Зливові каналізаційні насосні станції доцільно влаштовувати на знижених ділянках площ водозборів поблизу водоймищ, куди атмосферні води скидаються без попередньої очистки.

Кількість різних каналізаційних насосних станцій у загальній схемі водовідведення міста або населеного пункту визначається з урахуванням планувальних, топографічних і геологічних умов місцевості на підставі техніко-економічних розрахунків різних варіантів [3, 39, 40].

3.3 Визначення місткості приймального резервуара

Регулюючи місткість приймального резервуара розраховують відповідно до режиму роботи та загальної подачі насосної станції.

Якщо регулююча місткість буде мала, то не буде забезпечена рівномірність роботи станції. Якщо ж вона виявиться занадто великою, з'явиться небезпека випадання великого обсягу зважених речовин зі стічного рідкого середовища, що спричинить швидке замулення приймального резервуара й можливого загнивання стічної рідини. Необхідну регулюючу місткість зручно визначати графічним способом під час сполучення графіків припливу стічних вод і роботи насосів [1–3, 39, 40].

Під час проектування КНС подача насосів приймається рівною максимальному годинному притоку, $\text{м}^3/\text{год}$:

$$Q_H = q_{\text{год}}^{\text{макс}}. \quad (3.1)$$

Враховуючи циклічний режим роботи КНС (часті вмикання й вимикання насосів), для визначення регулюючої місткості використовують сумарний погодинний графік припливу й відкачування стічних вод. На рисунку 3.2 наведено графік припливу стічних вод для $K_{\text{год}} = 1,8$.

За вертикальною віссю графіка відкладають значення витрат стічних вод, яке виражене у відсотках від значення добового припливу, а за горизонтальною – значення тривалості припливу стічних вод у хвилинах. Якщо прийняти, що значення припливу (витрат) стічних вод до насосної станції протягом години залишається незмінним, то, відповідно до рисунку 3.2, графіки, що характеризують годинні припливи, будуть мати вигляд прямих ліній. Для визначення регулюючої місткості лінії графіків припливу стічних вод необхідно сполучити з лініями графіків їхнього відкачування. Як було зазначено вище, сумарна подача КНС призначається рівною максимальному годинному припливу. Отже, у години максимального припливу регулюючої ємності не потрібно ($q_{\text{год макс}} = Q_{\text{н.с.}}$). В усі інші години доби із припливом, меншим за максимальний, сумарне значення подачі насосів виявиться більшим за значення припливу і їхня нормальна робота порушиться. Щоб забезпечити рівномірну роботу насосів, практикують періодичне наповнення й відкачування прийомного резервуара.

Відповідно до графіка притоку та відкачування стічних вод, який подано на рисунку 3.2, протягом кожного циклу стоки надходять до резервуара (насос не працює) у такі періоди:

- від 0 до 10 хв;
- від 20 до 30 хв;
- від 40 до 50 хв.

Тривалість роботи насоса настає у такі періоди:

- від 10 до 20 хв;
- від 30 до 40 хв;
- від 50 до 60 хв.

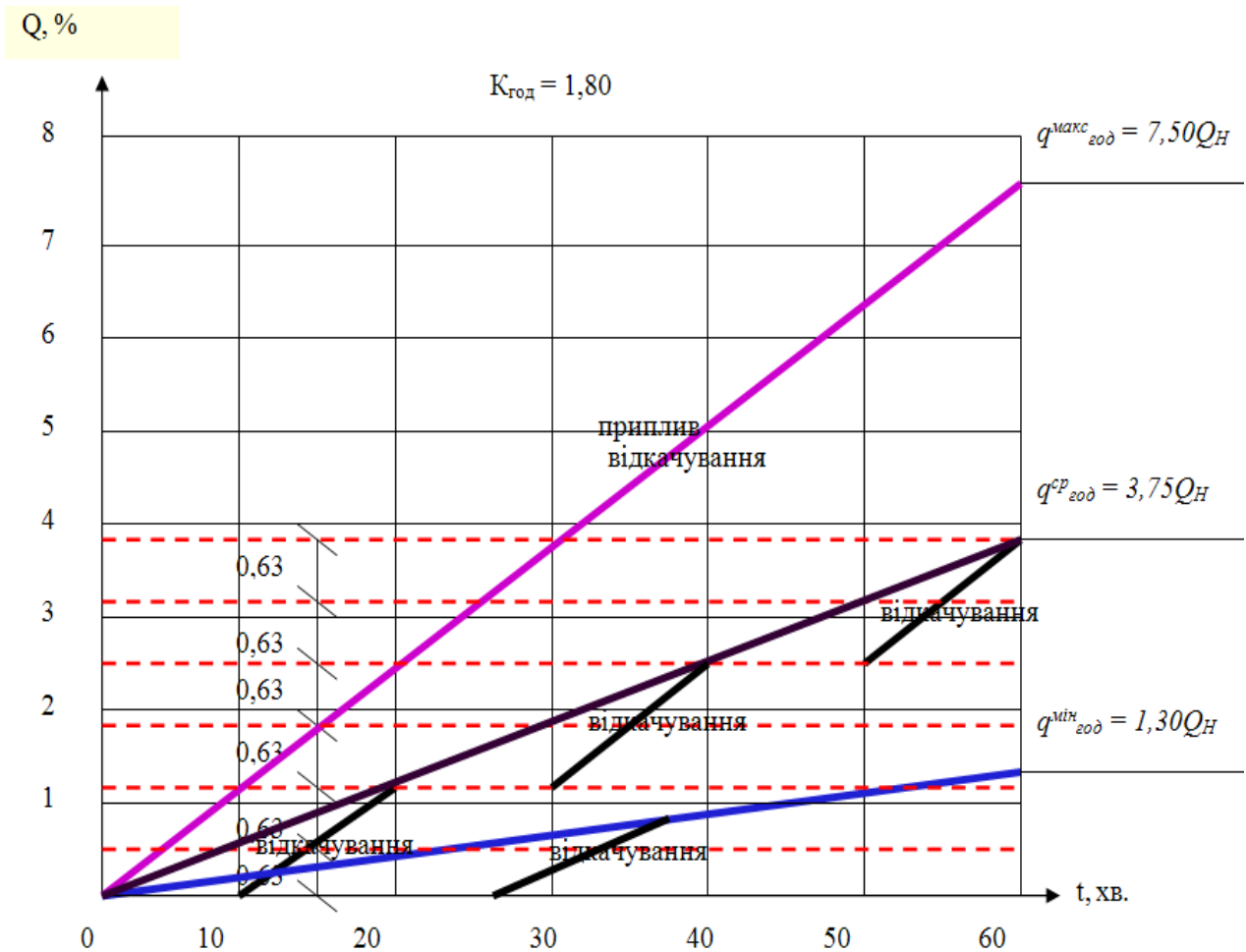


Рисунок 3.2 – Погодинні графіки припливу і відкачування стічних вод для $K_{\text{год}} = 1,8$

Згідно з графіком На рисунку 3.2 об'єм приймального резервуара буде дорівнювати 0,63 % від Q .

Після узагальнення та аналізу відомих графіків притоку стічних вод можна зробити такий висновок: *мінімальна місткість приймального резервуара має бути не менше 5-хвилинної подачі одного (найбільш потужного) насоса.* Враховуючи це, графік відкачування стічних вод для розрахункової години із припливом, рівним 50 % $q_{\text{год max}}$, можна побудувати так.

У разі відомої кількості вмикань насосів за 1 год, мінімальна місткість приймального резервуара може розраховуватися за формулою:

$$W_{\min} = \frac{W_{\text{год min}}}{n} \left(1 - \frac{q_{\text{год min}}}{Q_{\text{нс}}} \right), \quad (3.2)$$

де $W_{\text{год min}}$ – об'єм стічних вод за годину мінімального припливу (чисельно збігається з $q_{\text{год min}}$, м^3);

n – кількість вмикань насосів за 1 год,

$q_{\text{год min}}$ – мінімальний годинний приплив стічних вод за добу, $\text{м}^3/\text{год}$;

$Q_{\text{нс}}$ – подача насосної станції, $\text{м}^3/\text{год}$.

Регулюючи місткості насосних станцій, що працюють назалежно,

визначають із умови їхньої спільної роботи. В окремих випадках ці місткості можуть бути визначені з умов прийому стічних вод під час спорожнювання напірного трубопроводу з метою його ремонту. Для населених пунктів з невеликою кількістю мешканців місткість приймального резервуара каналізаційної насосної станції може бути визначена з умови прийому нічних стоків без увімкнення насосів.

Регулюючі місткості приймальних резервуарів станцій, що перекачують виробничі стоки, визначаються відповідно до технологічних процесів.

Місткість приймального резервуара насосних станцій для перекачування мулу або осаду визначають за об'ємом циркулюючого мулу й осаду, що випускається з відстійників і метантенків. Регулююча місткість приймального резервуара мулової станції, що перекачує осад за межі станції очистки, повинна бути не більше 15-хвилинної подачі найбільшого з установлених насосів.

Регулюючими ємностями зливових насосних станцій для прийому залпових дощових вод слугують ставки-регулятори, в якості яких зручніше за все використовувати природні западини. Місткість регулюючої призми ставка може бути визначена з аналізу сполучених графіків припливу й відкачування або розрахована за формулою:

$$W = k \cdot Q_p \cdot t_p, \quad (3.3)$$

де Q_p – розрахункова витрата дощових вод у місці приєднання водовідвідної споруди до ставка, м³/с (визначається за даними гідравлічного розрахунку дощової водовідвідної мережі);

t_p – розрахунковий період стоку дощових вод із усього басейну до місця приєднання до ставка, с (визначається за даними гідравлічного розрахунку дощової мережі);

k – коефіцієнт, що залежить від значення a , прийнятого за таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Значення коефіцієнта a

a	k за		a	k за		a	k за будь- якого n
	$n \geq 0,6$	$n < 0,6$		$n \geq 0,6$	$n < 0,6$		
0,10	1,5	–	0,40	0,42	0,47	0,70	0,13
0,15	1,1	1,5	0,45	0,36	0,38	0,75	0,10
0,20	0,85	1,13	0,50	0,30	0,32	0,80	0,07
0,25	0,69	0,87	0,55	0,25	0,27	0,85	0,04
0,30	0,58	0,69	0,60	0,21	0,22	0,90	0,02
0,35	0,5	0,57	0,65	0,16	0,17	–	–

3.4 Вибір основних і резервних насосів

Каналізаційні насосні станції, що перекачують господарсько-побутові стічні води, обладнуються відцентровими горизонтальними або вертикальними

насосами. Горизонтальні насоси використовуються на насосних станціях наземного типу або станціях, які мають відносно невелике заглиблення (3...5 м).

На станціях із заглибленням більше 5 м (шахтного типу) доцільніше використовувати вертикальні насоси, тому що в цьому випадку значно зменшуються розміри будівлі станції в плані.

Під час визначення кількості робочих агрегатів варто враховувати, що великі насоси мають більш високий ККД. У зв'язку з цим необхідно призначити меншу кількість агрегатів, але з більшою продуктивністю. Однак установка на станції невеликої кількості агрегатів спричиняє збільшення потужності резерву насосного обладнання станції й зниження його маневреності. Необхідно також враховувати добовий об'єм рідкого стічного середовища, що перекачується, рівномірність його припливу і черговість будівництва насосної станції [2, 3, 39].

Кількість робочих насосних агрегатів для конкретних умов визначають на підставі техніко-економічних розрахунків варіантів з урахуванням перелічених вище умов.

Практика проектування й експлуатації КНС дає змогу надати такі рекомендації щодо вибору кількості насосних агрегатів. Малі станції з невеликою подачею обладнуються одним робочим агрегатом. Два – три робочих агрегати встановлюються на станціях із середньою і з великою подачами, а також з рівномірним припливом стічних вод. У загальному випадку на станціях з великою подачею встановлюються чотири – п'ять і більше робочих насосних агрегатів.

Крім робочих, на каналізаційних насосних станціях передбачають установлення резервних агрегатів (табл. 3.2). Робочі й резервні насоси повинні бути однієї марки, тому що це значно знижує експлуатаційні витрати, спрощує умови й можливість автоматизації процесів керування агрегатами.

Таблиця 3.2 – Вибір резервного насосного устаткування каналізаційних насосних станцій

Виробничі стічні води (побутові та близькі до них за складом)				Агресивні стічні води	
Робочі насоси	Резервні насоси відповідно до категорії надійності дії			Робочі насоси	Резервні насоси відповідно до всіх категорій надійності дії
	I	II	III		
1	2	1	1	1	1 і 1 на складі
2	2	1	1	2 – 3	2
3 і більше	2	2	1 і 1 на складі	4	3
–	–	–	–	5 і більше	Не менш 50 %

Для каналізаційних насосних станцій (незалежно від форми споруди в плані) у більшості випадків приймається однорядне розташування насосних

агрегатів. До того ж насоси встановлюються уздовж стіни, що відокремлює машинне відділення від прийомного резервуара. В окремих випадках у будівлях круглої форми насосні агрегати розміщуються концентрично.

Для полегшення запуску насосів їх розташовують нижче розрахункового рівня рідкого середовища, що перекачується, у прийомному резервуарі (самозаливання). Для станцій з регулюючими ємностями за розрахунковий приймають середній рівень води в прийомному резервуарі, що розташовують на 1 м нижче лотка колектора, що підводить. На станціях без регулюючих ємностей за розрахунковий рівень приймають позначку рівня води в лотку, що підводить, за мінімального її припливу. Якщо насос розміщується вище розрахункового рівня води в прийомному резервуарі, необхідно передбачити спеціальну вакуумну систему для заливання насосів перед запуском.

Використання відцентрових насосів на мережних каналізаційних станціях, що перекачують стічну воду з розташованого нижче в розташований вище колектор, економічно не виправдано. По-перше, напір каналізаційних відцентрових насосів вищий, ніж потрібно в зазначеному випадку. По-друге, їхнє використання вимагає досить складної конструкції будівлі із пристроєм приміщення ґрат. Для обладнання таких насосних станцій найчастіше використовуються шнекові насоси, що мають ряд переваг у порівнянні з відцентровими.

На каналізаційних насосних станціях, що перекачують промислові стічні води без великих механічних домішок, за необхідності можна використати водопровідні насоси.

3.5 Розрахунки та конструювання усмоктувальних і напірних трубопроводів

Щодо усмоктувальних і напірних трубопроводів каналізаційних насосних станцій ставляться такі ж вимоги, як і до водопровідних станцій. Однак під час їхнього конструювання необхідно враховувати деякі особливості, обумовлені складом стічних вод, що перекачують.

У насосних станціях, призначених для перекачування побутових стічних вод, для кожного насоса повинна бути передбачена окрема усмоктувальна труба з ухилом від насоса не менш 0,003...0,005. У бічній частині кожної труби влаштовуються люки, через які здійснюється прочищення труб, якщо вони засмічуються. На усмоктувальних трубах заводського виготовлення (для вертикальних насосів) люки роблять на заводах-виготовлювачах. Для зливу рідкого середовища з насоса під час його ремонту або ревізії в нижній частині усмоктувальної труби між засувкою і насосом передбачається випуск діаметром 50...100 мм. Прийомні клапани й підставки під прийомні отвори, щоб уникнути їхнього засмічування, на усмоктувальних трубах не ставляться.

Приймальні отвори вирв усмоктувальних труб діаметром до 500 мм розміщуються в горизонтальній площині, а труб діаметром більше 500 мм – у вертикальній площині паралельно до стіни, що розділяє машинний зал і приймальний резервуар. У цьому випадку з боку приймального резервуара

влаштовуються щитові затвори для перекриття приймальних отворів під час ремонту засувки на усмоктувальних трубах.

Розрахункові швидкості руху стічних вод в усмоктувальних трубопроводах приймаються такими ж, як і для водопровідної станції.

Засувки на усмоктувальних трубопроводах каналізаційних насосних станцій передбачаються в кожному разі, якщо насоси працюють із негативною висотою усмоктування (з підпором). Як усмоктувальні, так і напірні трубопроводи усередині насосної станції виготовляються зі сталевих труб на зварюванні. Фланцеві з'єднання використовуються тільки для приєднання труб до арматури й насосів.

Напірні трубопроводи всередині станції можна розміщувати в спеціальних каналах (у будівлях наземних і з малим заглибленням) або безпосередньо по підлозі машинного залу (у будівлях заглиблених і шахтних) на бетонних підкладках висотою 150...200 мм із кроком до 3 м. В останньому випадку, для того щоб забезпечити вільне переміщення обслуговуючого персоналу, влаштовують містки й переходи.

Трубопроводи невеликих діаметрів можна розміщувати уздовж стін на кронштейнах або підвісках на висоті не менше 2 м. Для трубопроводів більших діаметрів на станціях передбачається спеціальне приміщення.

Нагнітальні трубопроводи, що відходять від насосів, до загального колектора підключаються шелига у шелигу. Це сприяє поліпшенню гідравлічного режиму вузлів з'єднань під час перекачування стічних вод. До нагнітального колектора підключаються напірні водоводи, що відходять (не менше двох). Їхні діаметри визначають, виходячи з умови забезпечення (у випадку аварії на одному з них) пропуску води, не менш 70 % розрахункової подачі насосної станції за наявності аварійного випуску і 100 % – за відсутності аварійних випусків.

На нагнітальних трубопроводах, за напорів 30 м і більше, між насосами й засувками передбачаються односторонні зворотні клапани. Водоміри встановлюються в спеціальних камерах поза спорудою насосної станції.

3.6 Приймальні резервуари та їхнє обладнання

Приймальний резервуар (рис. 3.3) є головною спорудою КНС і призначений для прийому стічної рідини, що перекачується, із самопливних (безнапірних) колекторів. Таким чином забезпечується рівномірна робота насосів у найбільш економічному режимі за нерівномірного припливу стічних вод [41].

Робочий об'єм приймального резервуара визначається регулюючою місткістю (п. 3.3). Глибина в середній його частині повинна бути не менше 1,5...2 м, а найвищий розрахунковий рівень води в резервуарі приймається рівним позначці лотка колектора, що підводить, до того ж виключається можливість підпору потоку, що може призвести до відкладення осаду в колекторі. Дно резервуара влаштовують із ухилом не менш 0,1 % у бік прямих усмоктувальних труб. Приймальний резервуар роблять загальним для всіх

насосних установок станції. На станціях з подачею 100 тис. м³/добу і більше резервуар розділяють на два відділення без збільшення загального обсягу, що дає змогу поліпшити умови його експлуатації (чищення, ремонт тощо).

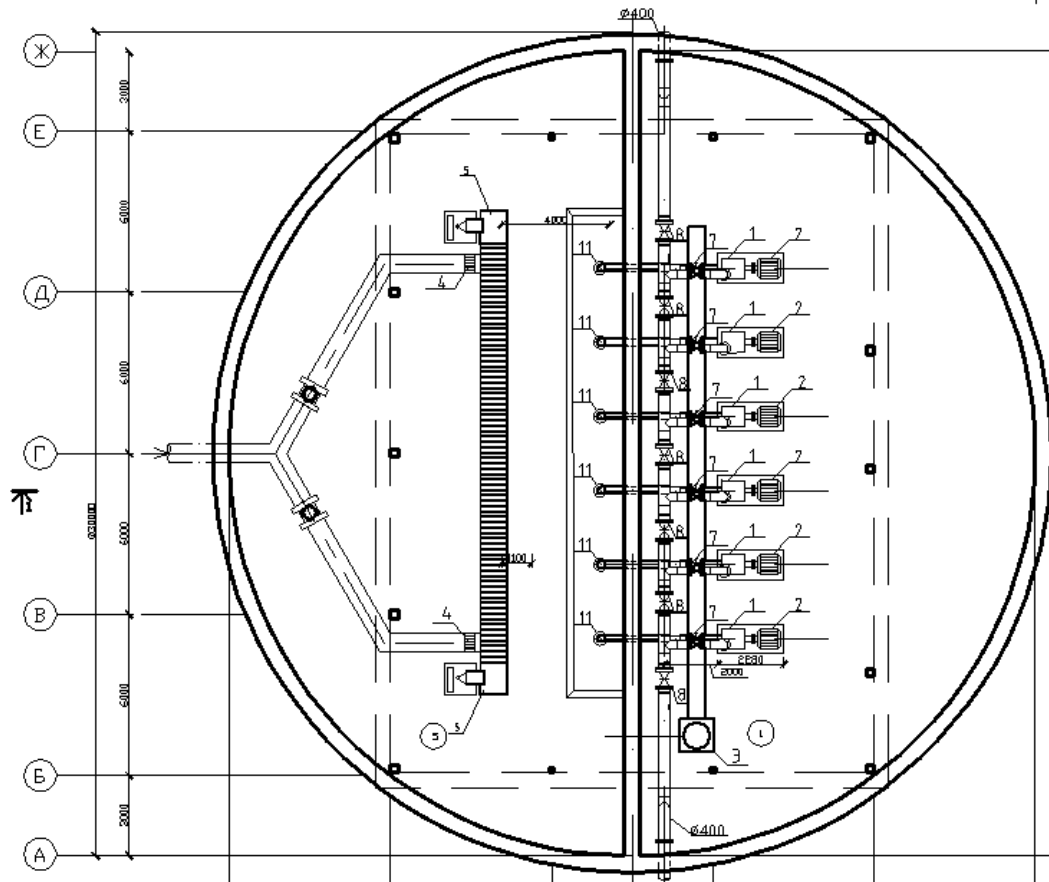


Рисунок 3.3 – План приймального резервуара КНС:

- 1 – насос відцентровий горизонтальний;
- 2 – електродвигун;
- 3 – дренажний насос;
- 4 – решітки механізовані;
- 5 – дробарка;
- 6 – кран підвісний;
- 7, 8, 9 – засувки;
- 10 – зворотний клапан;
- 11 – всмоктуючий трубопровід

Приймальний резервуар може бути виконаний окремо від приміщення насосної станції. Цей варіант найбільш сприятливий щодо санітарного стану, але в такому разі значно погіршуються експлуатаційні умови та збільшується довжина усмоктувальних труб. У практиці будівництва КНС поширені варіанти сполученого типу. У цьому разі приймальний резервуар відокремлюється від машинного залу глухою непроникною стіною.

На відстані 0,5 м від максимальної поверхні води в розподільних каналах резервуар перекривають залізобетонними плитами. У перекритті передбачаються експлуатаційні люки, а на стінах проти люків – скоби для спускання води в резервуар.

Щоб захистити насоси від засмічення, стічну воду пропускають через

ґрати або решітки-дробарки, встановлені на розподільних каналах біля входу стічних вод у резервуар.

Ґрати, які утримують сміття, можуть бути з ручним або механізованим видаленням затриманого сміття. Немеханізовані ґрати являють собою набір пластин (зі штабової сталі перетином 10×60 мм) із прозорами 16...20 мм, скріплених круглими (8...10 мм) стрижнями. Ґрати встановлюються під кутом 60...70 ° до горизонту. Очищення немеханізованих ґрат здійснюється ручними граблями. Їхня установка допускається на малих каналізаційних станціях у виняткових випадках за добового обсягу знятого з ґрат сміття не більше 0,1 м³.

У практиці будівництва КНС найчастіше використовуються механізовані ґрати, у яких грабельний механізм для видалення затриманого сміття приводиться в рух від електродвигуна через механічний редуктор. На загальній рамі механізованих ґрат (рис. 3.4), які встановлено на шарнірних опорах, у нижній частині закріплені нерухомі ґрати зі сталевих пластин. У верхній частині є електродвигун і редуктор із приводними ланцюгами. Останні обертають верхні провідні зірочки, які, у свою чергу, рухають нескінченні тягові ланцюги із закріпленими на них граблями. Залежно від забруднення стічної рідини кількість закріплених на ланцюзі граблів може бути від 1 до 4. Для ремонту й ревізії механічні ґрати на шарнірних опорах можуть підніматися нагору. Виготовляються механізовані ґрати двох модифікацій: вертикальні (РМВ) та похилі (МГТ), які встановлюються під кутом 60...80 ° до горизонту.

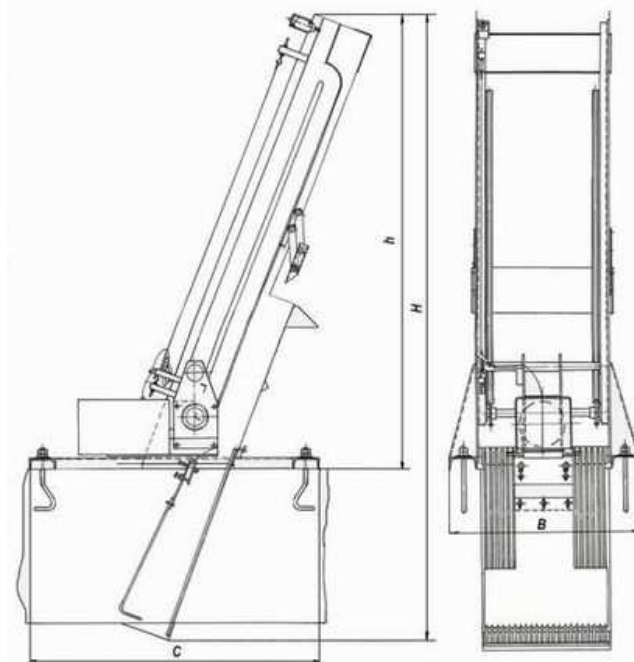


Рисунок 3.4 – Механізовані ґрати грабельного типу

Ширину прозорів ґрат приймають на 10...20 мм менше діаметрів прохідних перетинів насосів, що встановлені на КНС.

Якщо насосна станція перекачує стічну воду безпосередньо на очисні споруди, приймальний резервуар обладнується ґратами із прозорами 16 мм. У приймальних камерах очисних споруд у такому разі ґрати не встановлюються.

Для вибору типу й кількості ґрат визначають сумарну площу живого

перетину робочої частини ґрат:

$$\Sigma F_p = Q_{max} / v, \quad (3.4)$$

де Q_{max} – максимальний приплив рідкого середовища, м³/с;

v – швидкість руху рідкого середовища в прозорах ґрати: $v = 0,8...1$ м/с.

Призначивши кількість робочих ґрат n , визначають площу живого перетину прозорів робочої частини одних ґрат:

$$F_p = \Sigma F_p / n. \quad (3.5)$$

За каталогами з механічної очистки стічних вод, які надають виробники, обирають тип ґрат.

Кількість ґрат варто приймати мінімальною. Надійність роботи насосної станції до того ж забезпечується шляхом установлення резервних ґрат, кількість яких приймають у такий спосіб: якщо встановлено одні й більше механізованих робочих ґрат із прозорами понад 20 мм і до трьох ґрат із прозорами 16...20 мм – передбачають одні механізовані ґрати; понад три робочі механізовані ґрати із прозорами 16...20 мм – дві механізовані ґрати.

Грабельний механізм скидає затримане сміття із ґрат на стрічковий транспортер, встановлений за ґратами. За допомогою транспортера сміття подається в спеціальні дробарки, звідки після дроблення скидається в канал перед ґратами.

Для дроблення сміття використовуються дробарки молоткового типу (рис. 3.5). [42]. У їхньому чавунному корпусі встановлюється ротор, що становить собою ряд дисків, до яких на сталевих пальцях вільно підвішені молотки (сталеві пластини прямокутної форми).

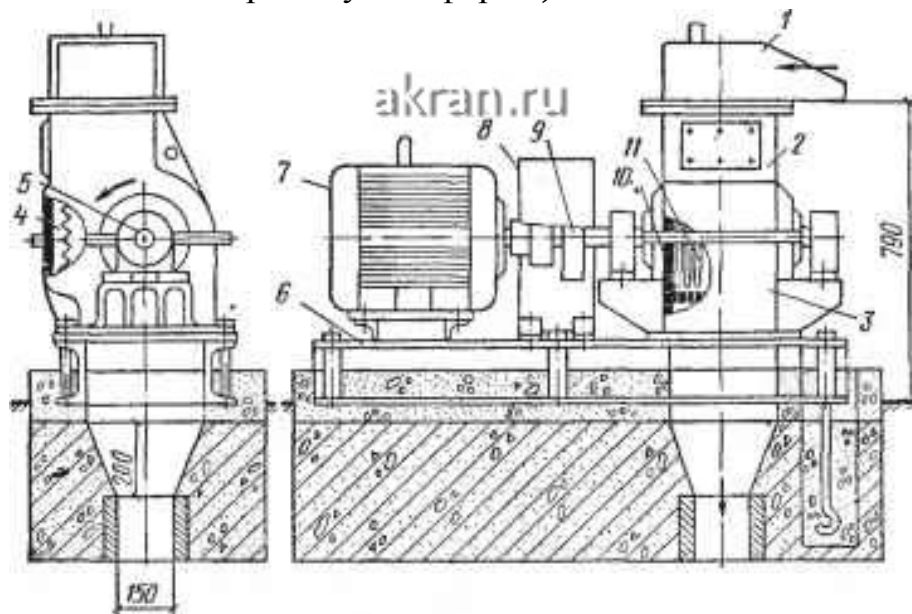


Рисунок 3.5 – Дробарка молоткова:

- | | |
|---|---------------------------|
| 1 – бункер завантажувальний; | 7 – електродвигун; |
| 2, 3 – верхня і нижня половини корпусу; | 8 – кожух муфти; |
| 4 – дробильна гребінка; | 9 – маховик; |
| 5 – ротор; | 10 – перфорована решітка; |
| 6 – зварна рама; | 11 – дробильний молоток |

Більш прогресивними і сучасними механізмами для попереднього очищення стічної води перед надходженням у насоси є решітки-дробарки (рис. 3.6).

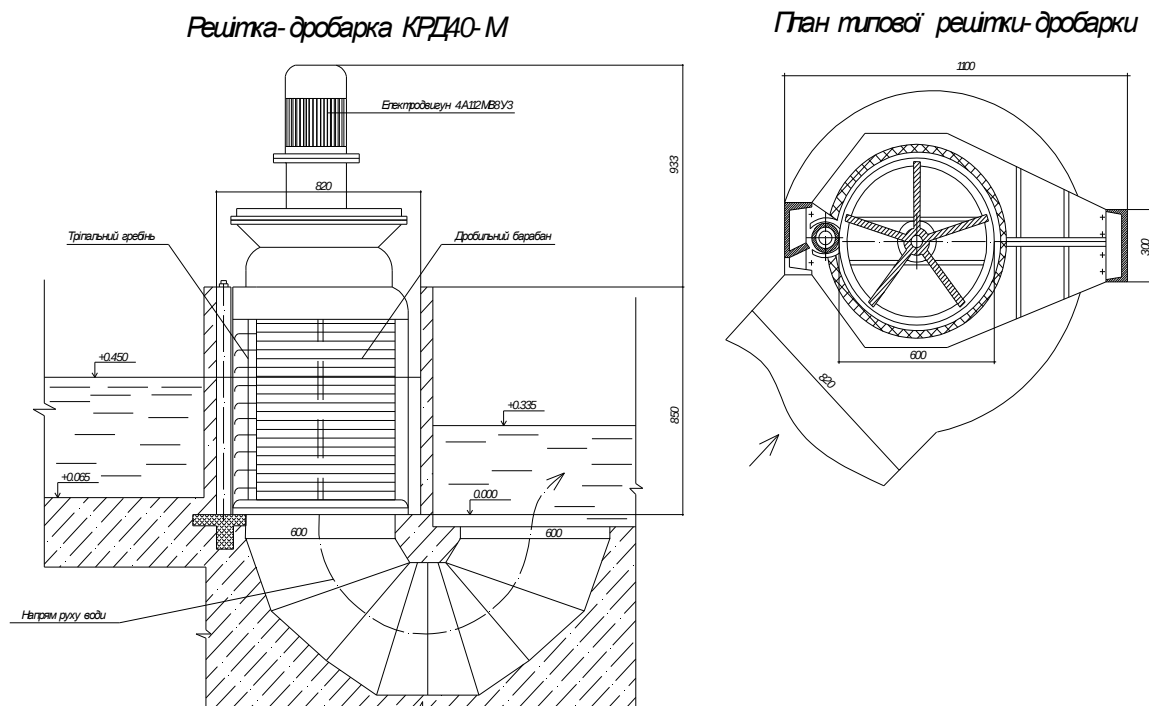


Рисунок 3.6 – Решітка-дробарка типу КРД40-М

Решітки-дробарки – це апарати, що сполучають дві операції: затримання значних домішок, що перебувають у стічній рідині, і їхнє роздрібнення до певних розмірів (подрібнення). Конструктивно вони становлять відкритий барабан, що обертається на вертикальній осі в нерухомому корпусі. У барабані зроблені горизонтальні щілини, через них стічна вода проходить із каналу, що підводить, у приймальний резервуар. На барабані закріплені різці, які під час його обертання проходять відносно смикальних гребенів, закріплених на корпусі з мінімальним зазором. Тверді домішки, що не пройшли крізь прозори барабана, подрібнюються та з потоком виносяться в приймальний резервуар. Рідке середовище з барабана в прийомний резервуар може надходити безпосередньо або через дюкерний пристрій.

Решітки-дробарки, у порівнянні з роздільними механізованими ґратами й дробарками, мають ряд істотних переваг:

- а) через те що процес подрібнення сміття здійснюється під шаром води, значно поліпшуються санітарно-гігієнічні умови експлуатації приймальних резервуарів;
- б) у 18...20 разів скорочується потужність привода та споживання електроенергії на затримання й подрібнення великих фракцій забруднень;
- в) через щілини малих розмірів зі стічною водою проходять механічні забруднення, для перекачування яких можуть використовуватися водопровідні насоси загального призначення з більш високим ККД і напором;

г) установка відрізняється компактністю.

Підбір решіток-дробарок, що випускають вітчизняною та іноземною промисловостями, здійснюють за спеціальними каталогами.

Щитові затвори, які встановлюють перед усіма ґратами на підвідних каналах, дають змогу відімкнути ґрати у випадку їхньої зупинки або ремонту. На випадок аварії або ремонту приймального резервуара передбачається плаский щитовий затвор на устя підвідного колектора. Під час закриття цього затвора стічна вода спрямовується через пристрій аварійного скидання, що є в найближчому від насосної станції колодязі на колекторі.

Для скаламучення осаду біля приймальних вирв кожної усмоктувальної труби влаштовують трубопроводи, вода до яких підводиться від напірних труб насосів. У приймальних резервуарах необхідно передбачити трубопроводи з технічною водою для підключення шланга із брандспойтом, за допомогою якого здійснюється періодичне промивання резервуара. Для утримування в належному санітарному стані приймального резервуара необхідно забезпечити підведення питної води.

У приміщенні приймального резервуара встановлюються вантажопідйомні механізми.

3.7 Насосні станції з насосами зануреного типу

На сучасному етапі розвитку будівництва майже всі каналізаційні насосні станції проектується з насосами зануреного типу. Головною перевагою занурених каналізаційних насосів є можливість створення простої та дешевої насосної станції. У порівнянні зі звичайними станціями економія складає від 40 до 60 % залежно від місцевих конкретних умов. Іншою перевагою є те, що насосну станцію можна розташовувати під землею, що важливо в міських умовах або під час розміщення установок в будівлях. Максимальна продуктивність насосів складає 3 600 л/хв, максимальна висота подачі – 30 м.

Найбільш повно вимогам забезпечення надійної та безперебійної роботи систем водовідведення відповідають відцентрові занурені електронасоси. Застосування занурених насосів дає змогу скоротити обсяги будівництва, тому що приймальне та машинне відділення суміщаються. За мокрого установлення насосів виключаються витрати на системи опалення, вентиляції, подачу технічної води. Цим забезпечується економія 30–60 % інвестиційних коштів. Занурений насос суміщений з електродвигуном у компактний агрегат з максимально коротким єдиним валом. Таким чином енергія передається від ротора до робочого колеса з мінімальними втратами. Несоосність та відповідно вібрація, гамір, дія на підшипники та механічне ущільнення також мінімізовані [14].

Ще однією перевагою занурених насосів є використання води в якості охолоджуючого агента. Висока температура – головний ворог електродвигуна, тому необхідне постійне охолодження. За допомогою більш високої теплоємності води охолодження відбувається більш інтенсивно, даючи змогу використовувати насоси для великих навантажень. Значний діапазон подач –

від 900 до 4 500 м³/год.

Конструкцію зануреного насоса розглянемо на прикладі японських насосів Tsurumi [43].

Перевагами таких насосів є:

А) Абсолютна водонепроникність.

Ємність для входу проводів в насос та самі проводи часто залишаються незахищеними від капілярного просочування води через низький негативний тиск, який створюється всередині насоса. Це може спричинити вихід насоса з ладу. Входи електричних проводів і кожен провід окремо в насосах Tsurumi захищені спеціальними епоксидними прокладками, які повністю виключають навіть капілярне просочування води.

В) Безперебійна робота в сухих умовах.

За допомогою бі-металічного датчика, який розташований над електродвигуном, електропостачання насоса переривається, якщо підвищується напруга або відбувається перегрівання.

С) Подвійний механічний сальник.

З карбіду кремнію з пристроєм підйому масла, що забезпечує надійне змащення навіть в умовах низького рівня масла.

Е) Масляний підйомник.

Спеціальна напрямна лопатка прикріплена всередині резервуара для масла. Масло піднімається під час обертання двигуна, тому навіть за низького рівня масла забезпечується змащення й охолодження механічного ущільнення.

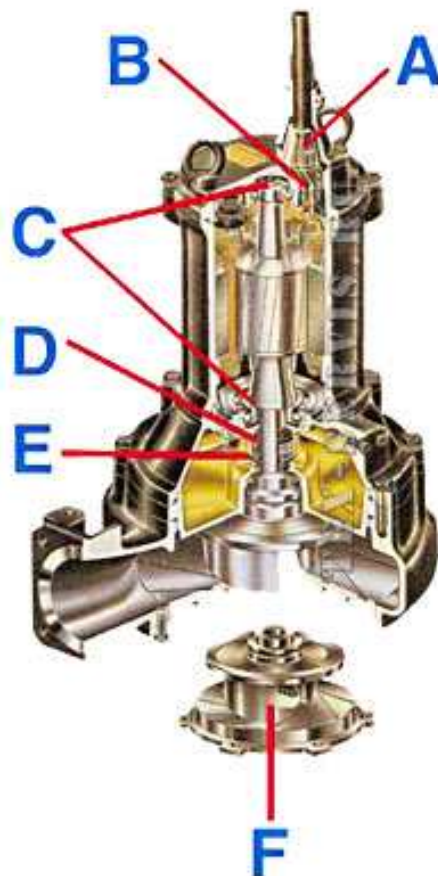


Рисунок 3.7 – Конструкція зануреного насоса Tsurumi

D) Висока якість і надійність підшипників.

Висока якість підшипників дає змогу насосам Tsurumi працювати навіть у горизонтальному зануреному положенні.

F) Перевірені й надійні матеріали та крильчатки.

В насосах Tsurumi широко застосовується литий чавун та інші матеріали, які забезпечують стійкість до зношення у високоабразивних середовищах. Конструкція крильчаток підвищує ефективність роботи моторів та перекачування рідин.

Фекальний занурений насос призначений для відкачування нефільтрованої води з різних резервуарів. Оснащення спеціальною системою самоочищення спричиняє збільшення строку служби насосів.

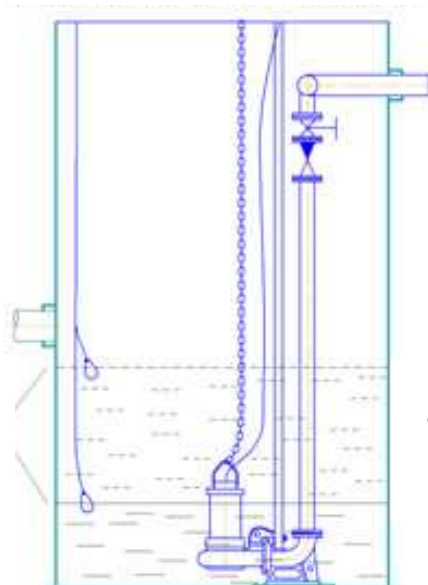
Дренажні та фекальні занурені насоси подаються в широкому асортименті різними виробниками, що дає змогу обирати оптимальні робочі параметри. Занурені насоси оснащені торцевими ущільненнями вала з трьохфазним або однофазним двигуном, з поплавковим вимикачем та вбудованим пристроєм теплового захисту.

Для керування насосами у автоматичному режимі можуть застосовуватися однорівневі або дворівневі поплавкові вимикачі (рис. 3.8).

Зміна положення однорівневого поплавкового вимикача відбувається у момент перевищення (пониження) рівня рідини – висоти підвісу поплавка.

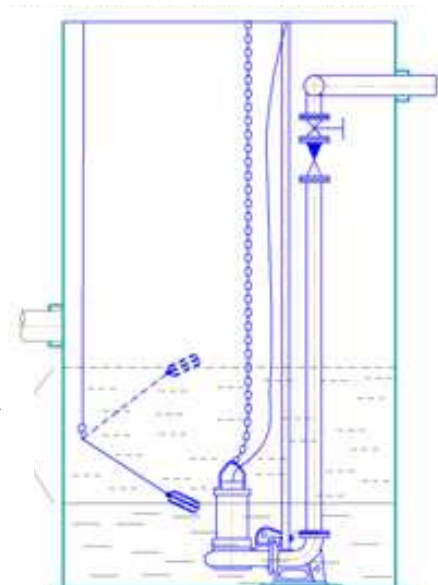
Дворівневий поплавок має гістерезис, який регулюється. Зміна стану поплавка відбувається у момент зміни положення осі поплавка відносно поверхні приблизно на кут 45° . Висота відкачуваної рідини регулюється шляхом зміни положення вантажу, який розташований на проводі поплавкового вимикача.

Застосування однорівневих поплавків



Діапазон відкачуваної рідини

Застосування дворівневих поплавків



Діапазон відкачуваної рідини

Рисунок 3.8 – Розміщення поплавків у насосних станціях із зануреними агрегатами

3.7.1 Проектування насосних станцій з установленням занурених агрегатів

Насосні станції із зануреними осьовими насосами. Моноблок осьового насоса з електродвигуном зануреного типу вимагає мінімальних капітальних витрат на будівництво насосної станції через її простоту. Під час проектування такої насосної станції необхідно враховувати низку особливостей, які обумовлені високою продуктивністю цих агрегатів (до 20 000 м³/год). Занурені електронасоси з осьовим або діагональним робочими колесами зазвичай встановлюються у вертикальній напірної колоні на виступ (фланець), закріплений знизу.

Об'ємні завихрення на вході в насос можуть небажаним чином змінювати напір, продуктивність і потужність насоса.

Локальні завихрення спричиняють порушення суцільності потоку і, отже, вібрацію, шум, кавітацію, а також здатні захоплювати з поверхні в насос плаваюче сміття, через що насос може зламатися. На багатонасосних станціях, які характеризуються різноманітними робочими умовами, необхідно застосовувати перегородки, які розділяють та скеровують потік. Вони згладжують вплив асиметрій у вхідному потоці.

На насосних станціях зазвичай встановлюють два і більше агрегати. Багатонасосні системи мають велику продуктивність, є більш пристосованими до роботи та більш надійними. Такі станції проектуються на базі індивідуальних водоприймальних модулів. Оскільки вхідний потік повинен бути максимально рівномірним, конфігурація приймальної камери, звідки потік надходить в окремі модулі, має велике значення.

Існують дві основні конструкції багатонасосних станцій – з фронтальним і бічним впуском води в приймальний резервуар. Якщо впуск фронтальний і ширина його менша загальної ширини водоприймачів, то підвідну камеру потрібно симетрично розширити. Сумарний кут розширення від підвідної труби не повинен перевищувати 40 °. Для відкритих вхідних лотків загальний кут розширення не повинен перевищувати 20 °. Нахил дна в приймальному резервуарі влаштовується в межах 10 °. Якщо ці параметри не дотримуються, то для поліпшення розподілу підвідного потоку необхідні розділові або водовідбійні стінки.

Під час проектування особливо великих насосних станцій загальною продуктивністю понад 22 000 м³/год або одиничною подачею насоса понад 9 000 м³/год рекомендується обов'язкове випробування її гідравлічної моделі лабораторією чи проведення комп'ютерного аналізу гідродинаміки.

Відстань між перегородкою і водоприймальним модулем має бути достатньою для того, щоб видалити завихрення і залучене повітря до надходження води в насос. Потік води, що транспортується через водопідйомну колону, дуже потужний. Обтікаючи кабельні жили насосного агрегату, він примушує їх сильно коливатися і переплітає між собою. Пошкоджень кабелів можна уникнути, використовуючи пристосування, що забезпечують їхній натяг, а також герметичний і одночасно еластичний перетин з конструкцією колони.

Занурені насоси з осьовим або діагональним робочими колесами дають

змогу істотно спростити і скоротити витрати на перекачування великих об'ємів води на малу висоту. Для їхньої надійної роботи особливо важливо забезпечити рівномірність, стабільність потоку на введенні без вихрів воронок, а також без залучення повітря.

3.7.2 Насосні станції з «мокрим» установленням занурених насосів

Класична каналізаційна насосна станція складається з приймального і машинного резервуарів, розділених глухою перегородкою. Приймальний резервуар виконує функцію буферної зони, в якій відбувається поглинання коливань припливу і відкачування, а також вирівнювання потоку.

Надійна й економічна робота насосної станції можлива за умови виконання як мінімум двох обставин щодо її приймального резервуара: по-перше, потік рідини в ньому має бути стабільним і рівномірним, щоб не створювати умов для потрапляння повітря в насоси; по-друге, він має бути одночасно швидким, щоб уникнути скупчення осаду та плаваючих речовин.

Отже, розміри приймального резервуара повинні бути досить великими, забезпечувати хорошу гідравліку насосів, але одночасно і малі, щоб виключити затримку і засмічення.

Рекомендації для забезпечення стабільної роботи мають бути такими:

- необхідно зберігати швидкість на вході в межах 0,6 м/с;
- необхідно витримувати швидкість потоку в приймальній камері не вище 0,3 м/с;
- необхідно уникати зміни напрямку потоку на вході в насос, а якщо потрібно його змінити, то роботи це плавно, рівномірно, незалежно [14, 34].

Занурені насоси, внаслідок рідинного охолодження електродвигуна, компактності, конструктивних особливостей, можна вмикати частіше класичних, у зв'язку з чим насосні станції із зануреними насосами проектують значно менших розмірів.

Під час проектування насосної станції найважливіше закласти сприятливі гідравлічні умови для роботи агрегатів. Потік води у будь-який насос повинен бути однорідним і сталим, без завихрень і залучення повітря в рідину. Порушення однорідності потоку може призвести до порушення оптимальних умов роботи робочого колеса і до зниження гідравлічного ККД, появи шуму, вібрацій, проблем з підшипниками.

Завихрення на вході в насос можуть спричинити локальне падіння тиску, утворення і надходження ядра повітряного вихору в насос. Це ядро повітря, залучене рідиною, спричиняє зниження подачі, нерівномірне навантаження на робоче колесо і місцеве ударне навантаження на різні частини насоса, що стає причиною шуму та вібрацій.

Під час перекачування забруднених вод конструкція приймального резервуара повинна забезпечувати не тільки відповідне підведення потоку до насосів, а також перешкоджати утворенню осаду й поверхневої піни в колодязі.

На підставі перерахованого вище, розроблена принципова конструкція насосно-приймального резервуара (рис. 3.9) [14].

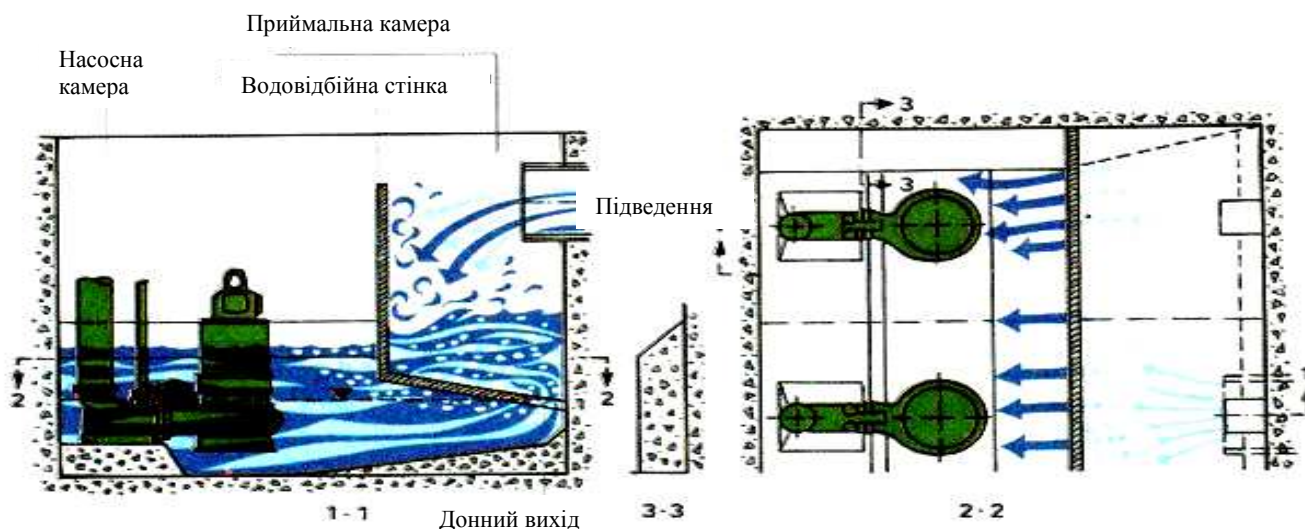


Рисунок 3.9 – Принципова конструкція насосно-приймального резервуара

У такій конструкції потрапляння повітря в рідину внаслідок падіння рівня води зведено до мінімуму за рахунок використання перегородки спеціальної конструкції. Потік води з підвідного трубопроводу стикається з перегородкою і потім стікає нею вниз у приймальний лоток. У дні приймального лотка є отвори, які певною мірою обмежують рух потоку, забезпечуючи час для видалення повітря. Якщо деяка частина повітря потрапляє в насосну камеру, то це повітря піднімається вздовж нижньої сторони похилого дна приймального лотка й потім на поверхню.

Вторинне залучення повітря у воду на вході в насосну камеру не відбувається, тому що донні виходи завжди знаходяться нижче мінімального рівня води в насосній камері. Водовідбійна стінка, розміщена навпроти підвідного трубопроводу, повинна бути достатньо високою, щоб запобігти переливанню потоку через неї. Потік у приймальному лотку турбулентний, тут можуть зібратися різні, зокрема плаваючі речовини. Для їхнього відводу можна використовувати бічні водозливи.

Підвідна труба повинна виступати за межі отворів в похилій перегородці і заходити всередину резервуара, щоб запобігти зливу води безпосередньо в отвори приймального лотка під час незначного надходження.

Вертикальна перегородка повинна розміщуватися трохи вище осрової лінії підвідної труби. Водозливи запобігають створенню підпору в підвідному колекторі, а також забезпечують надходження плавучих матеріалів в насосну камеру та їхнє відкачування.

Дотримання розмірів забезпечує надходження до насосів рівномірного потоку води без завихрень і турбулентних течій. Оскільки уся вода постійно перебуває в русі, ймовірність випадання осаду є дуже невеликою. Якщо необхідно збільшити обсяг резервуара, то краще всього це зробити шляхом збільшення відстані від місця входу потоку в приймальну камеру до насосів.

Мінімальний рівень води в насосно-приймальному резервуарі повинен бути достатньо високим, щоб квадратні отвори в похилій перегородці приймальної камери завжди були заповнені водою для уникнення повторного залучення повітря через лоток під час відкачування. Мінімальний рівень може

бути збільшений, якщо кавітаційний запас насосів вимагає забезпечення відповідного підпору.

Насос встановлений на вихідному патрубку, прикріпленому до плити підставки. Підставка створює стінку за всмоктувачем насоса, руйнуючи завихрення води під насосом, які можуть виникнути внаслідок несиметричного руху потоку. Вертикальна напірна труба встановлюється поблизу базової задньої стінки колодязя, щоб зменшити ймовірність обертання маси рідини. Ще більше шкодить вихороутворенню позаду насоса. Видаленню осаду сприяє пристрій навколо напірної труби похилої перегородки або бетонної призми, що спирається на днище резервуара.

Циліндричні станції проектуються таким чином, щоб спочатку розрахувати стандартний прямокутний модуль з необхідною кількістю насосів, а потім цей модуль вписати в коло відповідного діаметра.

Крім власне насосів, на станціях використовують запірно-регулюючу арматуру, електроштити автоматики, датчики, кабелі.

Під час розстановки цього обладнання необхідно дотримуватися таких загальних рекомендацій, що стосуються насосів зануреного установаження:

- щоб уникнути кавітації, арматура на напірній трубі повинна розташовуватися не вище 8 метрів щодо верху корпусу насоса;
- щоб полегшити обслуговування і захистити кабель, під час прокладання кабелю рекомендується виконати в підлозі жолоб;
- опорний кронштейн для кабелю й армований кожух повинні бути встановлені таким чином, щоб забезпечити доступ до них, тобто в межах досяжності, під люком;
- датчики рівня, за допомогою яких здійснюється пуск/зупинка агрегатів, повинні розташовуватися в зонах між напірними трубами насосів і задньою стінкою колодязя;
- в багатонасосних приймальних резервуарах з агрегатами, що мають одиничну подачу 315 л/с і більше, необхідно встановлювати придонні розділові перегородки потоку між усмоктувачами насосів.

Для спрощення розрахунків і побудови насосних станцій розроблені відповідні програми проектування. Деякі з них дають змогу, поряд з технічними, оптимізувати й економічні складові, зокрема із застосуванням регулюючого приводу [14].

3.7.3 Проектування насосних станцій із зануреними насосами «сухого» установаження

Під час проектування насосних станцій часто виникає питання, яке установаження занурених насосів краще – «мокре» чи «сухе».

На рисунку 3.10 подані види монтажу агрегатів [33]. Аналіз варіантів їхнього встановлення дає змогу визначити такі технічні відмінності.

1. Під час «мокрого» установаження електродвигун насоса, перебуваючи у воді, охолоджується інтенсивніше, ніж двигуни агрегатів «сухого» установаження.
2. Підпір Н (потенційна енергія) розташовується перед насосом під час «мокрого» установаження вище, ніж перед встановленими «сухо».

3. Вода в корпус насоса у разі «мокрого» установлення потрапляє безпосередньо, а у разі «сухого» установлення – через усмоктувальну лінію з сусіднього приймального відділення, яке збільшує собівартість станції.
4. Усмоктувальна лінія завжди спричиняє втрати і збурення в потоці рідини.
5. Монтаж/демонтаж агрегатів з «сухим» установленням передбачає задіювання персоналу станції для закріплення великої кількості болтів.

Незважаючи на технічні переваги «мокрого» установлення, монтаж агрегатів у машинному відділенні є виправданим у низці випадків, зокрема під час модернізації існуючих станцій.

У порівнянні з класичними, занурені насоси «сухого» установлення мають такі відмінності:

- більш компактні, а отже, конструктивно більш збалансовані й займають менші площі;
- герметичні і, отже, продовжують працювати в разі затоплення станції;
- мають вбудовану рідинну систему охолодження, яка ефективніша за повітряну, це дає змогу істотно збільшити кількість їхніх пусків/зупинок за одиницю часу.

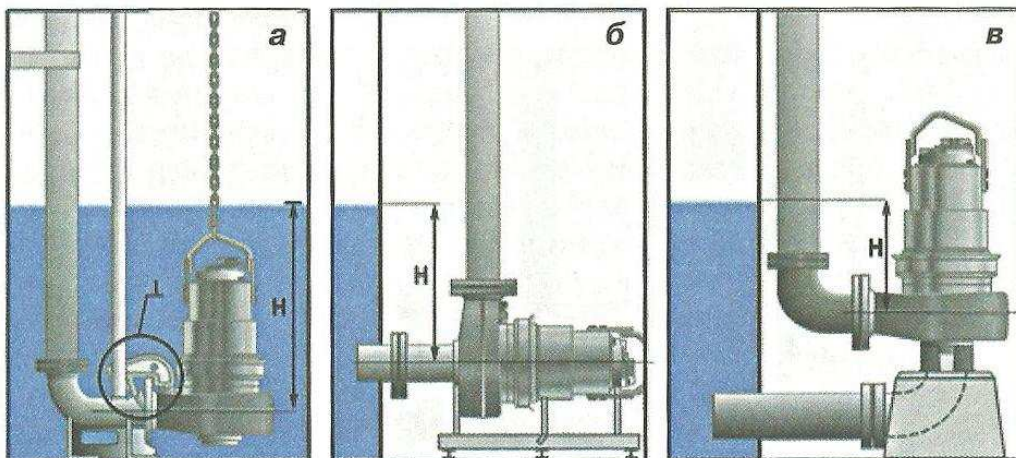


Рисунок 3.10 – Види монтажу агрегатів:

а) «мокрый»; б) «сухий» горизонтальний; в) «сухий» вертикальний

«Сухе» установлення насоса відрізняється від «мокрого» наявністю всмоктуючої лінії, яка є тим елементом системи, де приховано близько половини всіх причин поломок агрегатів. З огляду на це проектувати всмоктувальні лінії необхідно, дотримуючись таких правил:

- передбачати для кожного насоса окрему усмоктувальну трубу й мінімізувати на ній кількість відводів і засувок;
- використовуючи відводи, необхідно обирати такі, що мають великий радіус вигину і зорієнтовані в одній площині;
- прокладати трубу з ухилом не менше 0,005 від насоса в бік приймальної камери без підвищень, щоб уникнути потрапляння в них повітря;
- використовувати під час з'єднання труб різних діаметрів на горизонтальних ділянках тільки косі переходи;
- довжина лінії повинна бути найкоротшою, але мати пряму ділянку труби від фланця всмоктуючого патрубка насоса до найближчого елемента.

Одним з варіантів поліпшення гідравлічних умов усмоктування існуючого компонування є пристрій екрану та профільної вставки перед усмоктуючим патрубком.

Приймальний резервуар повинен забезпечувати надходження до всмоктуючих ліній насосів рівномірного потоку води без завихрень і турбулентних течій, а також виключати утворення зон застою.

В приймальних резервуарах багатонасосних станцій з агрегатами необхідно встановлювати придонні розподільні перегородки потоку між усмоктувальними патрубками насосів.

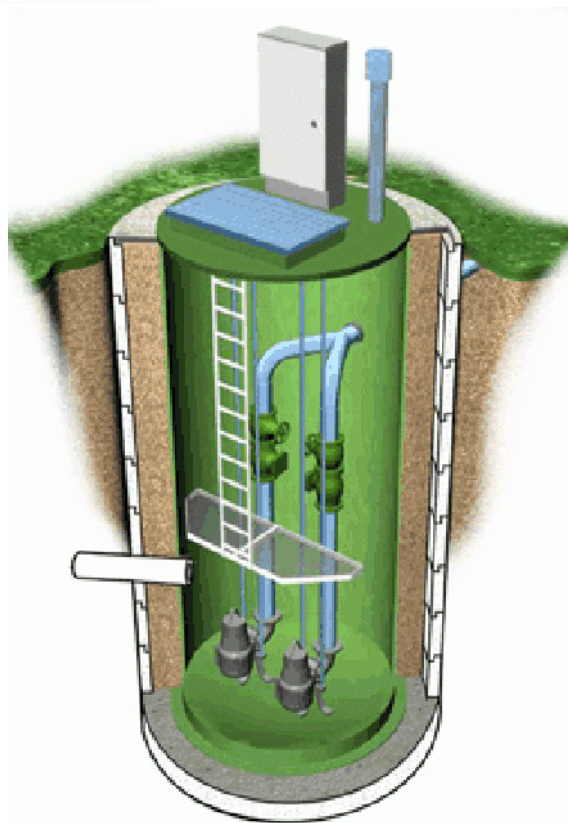
Насоси «мокрого» установлення з погляду гідравліки вигідніші за агрегати «сухого» установлення. Занурені насоси «мокрого» установлення мають у світі значно більший попит, ніж занурені насоси «сухого» установлення. І все ж у ряді випадків, особливо під час реконструкції існуючих станцій, «сухе» установлення вигідніше за «мокре». Для надійної роботи насосів «сухого» установлення потрібно дотримуватися правил їхнього проектування та монтажу.

3.8 Каналізаційні насосні станції зі скловолокна

На сучасному етапі проектування каналізаційних насосних станцій має ряд відмінностей у порівнянні з минулими роками. Поряд з традиційними конструкціями КНС (рис. 3.11, а) розповсюджені КНС зі скловолокна та інших полімерних матеріалів (рис. 3.11, б).



а)



б)

Рисунок 3.11 – Схеми компонування традиційних КНС (а) та КНС, виконаних з полімерних матеріалів (б)

Головною їхньою відмінністю є те, що корпус традиційної КНС виконують з бетону або залізобетону та розділяють на два окремих відділення. У наш час багато виробників виконують корпус КНС з полімерних матеріалів у вигляді колодязя, який має тільки одне відділення. На традиційних КНС найчастіше застосовують горизонтальні та вертикальні відцентрові насоси, на сучасних КНС – використовують відцентрові насоси зануреного типу.

Каналізаційна насосна станція зі скловолокна (рис. 3.12) становить собою ємність у вигляді вертикального циліндра, виконаного з армованого склопластику [44]. Усередині ємності КНС монтуються насосні агрегати, напірні труби, поплавкові датчики рівня, запірна арматура, майданчики для зручності обслуговування та інше обладнання. КНС призначена для перекачування господарсько-побутових, зливних і виробничих стічних вод.

Корпус каналізаційної насосної станції виготовляється методом радіально-перехресного намотування скловолокна, ровингових склотканин, скломату, просочених поліефірною сполучною. Внутрішні деталі корпуса – драбини, напрямні для підйому – опускання насосів, майданчики обслуговування, поручні – виготовляються з нержавіючої або оцинкованої сталі.

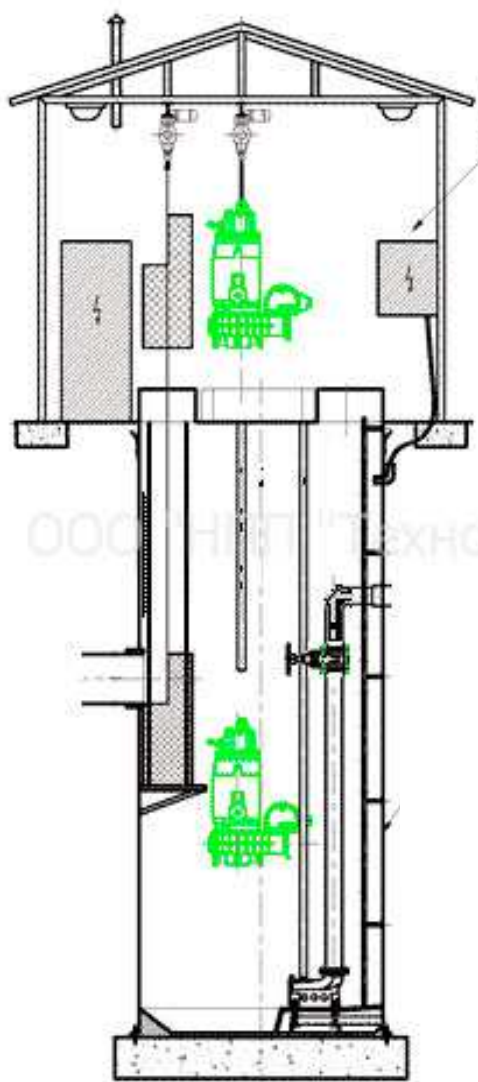


Рисунок 3.12 – КНС зі скловолокна

Днище корпусу насосної станції виконано у вигляді конуса для виключення злежування осаду. У випадку дуже забруднених стоків на насосі встановлюється промивний клапан, який скаламучує шлам перед відкачуванням.

Технологічні ребра жорсткості збільшують міцність конструкції склопластикового корпусу. Крім того, можливе виготовлення додатково посиленого корпусу. Посилення необхідне під час розміщення обладнання на великій глибині або під проїздною частиною.

У насосних станціях виробництва ТОВ «НВП «ТЕХНОПЛАСТ» використовується насосне обладнання фірми «ABS» (Швеція) або насоси інших виробників. Усі насоси зануреного типу. Насос опускається в корпус за напрямними і з'єднується з напірними трубами через патрубок, встановлений на дні корпусу.

Перевагами занурених насосів є такі:

- можливість вертикального переміщення їх напрямними і безболтове з'єднання з напірної трубою, що полегшує їхній монтаж і демонтаж;
- підйом / опускання насосів може здійснюватися електричною таллю. Ця перевага дозволяє не монтувати третій насос, як наказує ДБН для станцій першої категорії;
- час заміни насоса, який вийшов з ладу, на резервний насос зі складу займає не більше години без перерви в роботі самої насосної станції. Резервний насос може зберігатися всередині павільйону станції.

Насоси працюють в автоматичному режимі. Управління здійснюється через панель управління, обладнану лічильниками мото-годин, амперметрами, вольтметрами, лічильниками стартів, системою моніторингу агрегатів.

За схемою роботи насосної станції «1 робочий + 1 резервний», обидва насоса монтуються в КНС і кожен з них розрахований на повну продуктивність насосної станції. До того ж насосна станція працює в трьох режимах:

- розрахункове навантаження: насоси, вмикаючись поперемінно, відкачують стоки, що надходять;
- пікове навантаження: настає в тому разі, коли кількість стоків, що надходять, перевищує продуктивність одного насоса; під час наповнення станції до критичної позначки додатково вмикається другий насос;
- аварійна ситуація: під час наповнення станції до аварійного рівня, спрацьовує світлова та звукова сигналізація. Переповнення може бути спричинене відімкненням насосів, збільшенням обсягу стоків, які надходять, або іншими причинами.

Монтаж КНС зі скловолокна відбувається таким чином (рис. 3.13): систему заводять в яму, заздалегідь вириту за відповідними розмірами, на поверхні землі залишається тільки оглядовий люк.

За необхідності розміщення системи КНС над об'єктом, поверхню підсилюють бетонною плитою, а люки зі склопластику замінюються на чавунні.

За функціональними елементами КНС поділяються на приймальну ємність, спеціальний контейнер для уловлювання великого побутового сміття, каналізаційні насоси, систему трубопроводів. Сучасні КНС комплектуються

системою управління насосного агрегату. Зазвичай подібна система управління розташовується у вологозахищеному приміщенні. Це може бути гараж або підсобне приміщення, якщо справа стосується заміського будинку.

Для виконання проекту КНС необхідно знати такі параметри: глибину розташування підвідного трубопроводу; рівень підйому води (напір і потужність насоса); витрату води, яку здатний перекачати насос за одиницю часу; склад води.

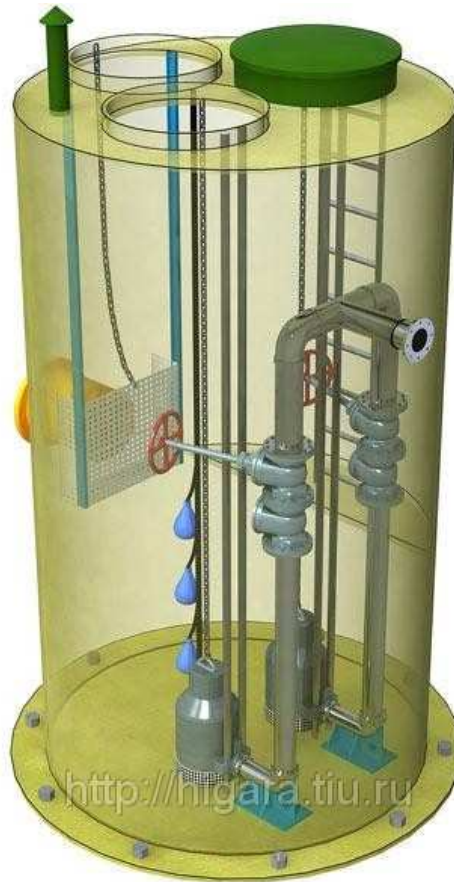


Рисунок 3.13 – Конструкція КНС зі скловолокна

Під час проектування сучасних насосних станцій необхідно мати на увазі таке:

1. Насосна станція повинна розташовуватися на такій глибині, щоб з усієї каналізаційної мережі стоки самотієм потрапляли в приймальний резервуар, до того ж максимальний рівень води в шахті має бути завжди нижче крайки підвідного трубопроводу.
2. Об'єм резервуара повинен бути розрахований таким чином, щоб відбувалася припустима кількість вмикань і вимикань насоса під час його автоматичної роботи.
3. Необхідно уникати прямого потрапляння на насос потоків води з підвідного трубопроводу. Для зниження турбулентності потоку і запобігання можливості утворення бульбашок повітря в резервуарі поруч з всмоктувальним патрубком і на вході в шахту встановлюється відбійний щиток. Нижній край щитка завжди повинен бути занурений у воду, він

повинен бути розташований нижче мінімального рівня води у збірному резервуарі.

4. Дно приймального резервуара повинно мати ухил щодо вхідного патрубку насоса, щоб уникнути відкладень, які можуть перешкоджати роботі насоса. Бічні стінки в нижній частині шахти повинні мати скоси з кутом нахилу, який дорівнює 60° .

В приймальному резервуарі і машинному залі необхідно передбачити достатню вентиляцію.

5. Діаметр напірного трубопроводу має бути не менше 100 мм.

6. Для насосів з витратою до 100 л/с для того щоб уникнути усмоктування повітря, висота дзеркала води над усмоктувальним патрубком повинна бути не менше 0,5 м. Для «сухого» монтажу всмоктуючий трубопровід повинен бути з постійним підвищенням до входу насоса.

У деяких випадках під час проектування КНС з полімерних матеріалів виконують її розділення за вертикаллю [45] (наприклад, коли використовують насоси, вісь яких розташована вище рівня води у приймальному резервуарі).

У такому разі КНС проектують з вертикальним корпусом та самовсмоктуючими насосами (рис. 3.14, а). Така конструкція каналізаційної насосної станції зумовлена не тільки використанням самовсмоктуючих насосів. Корпус КНС розділений на приймальну камеру і насосне відділення, у якому монтуються шафа керування, система приводів та самі насоси, що спрощує проведення технічних та ремонтних робіт.



а)



б)

Рисунок 3.14 – Встановлення самовсмоктуючих насосів у КНС з полімерних матеріалів (а) та горизонтальне розміщення КНС (б)

Каналізаційна насосна станція з горизонтальним корпусом (рис. 3.14, б) встановлюється на об'єктах з нерівномірним надходженням стоків у КНС або на очисні споруди. Резервуар станції акумулює залповий скид дощових стоків, і насоси в штатному режимі перекачують воду. Потім відбувається вирівнювання енергії, яка споживається. КНС з горизонтальним корпусом не просто акумулює стоки: насоси перекачують накопичений об'єм в години найменшого споживання електроенергії.

3.9 Насосні станції перекачування мулу

На спорудах для оброблення та очищення стічних вод утворюються мул та осади, які необхідно періодично або безперервно видаляти. На спорудах для біологічного очищення стічних вод необхідно, крім того, забезпечувати циркуляцію активного мулу. Для цих цілей влаштовують спеціальні так звані мулові насосні станції. Вони відрізняються від насосних станцій побутової каналізації відсутністю решіток і дробарок. Для перекачування осадів застосовують, як правило, звичайні фекальні насоси.

Мулові насосні станції входять до складу каналізаційних очисних споруд. Вони бувають двох типів: 1) для перекачування сирого осаду з первинних відстійників і надлишкового активного мулу з вторинних відстійників у метантенки або інші споруди для подальшого оброблення; 2) для перекачування активного мулу в аеротенки з ущільнювачів мулу вторинних відстійників. Станції першого типу найчастіше обладнуються плунжерними насосами, другого типу – осьовими або низьконапірними відцентровими насосами. Станції для перекачування активного мулу можна обладнати шнековими насосами [1–3].

Загальну подачу мулової насосної станції визначають за об'ємом осаду, а напір – за схемою вертикального планування споруд очисної станції. Режим роботи станції пов'язаний з режимом роботи очисних споруд.

Через те, що мул, який перекачується, не має великих механічних домішок, приймальні резервуари ґратами не обладнуються.

Насосні станції для перекачування мулу можуть розміщуватися в окремих будівлях або у вбудованих приміщеннях виробничих споруд.

Резервуари для осаду (мулу) влаштовують як суміщеними з насосною станцією, так і окремо від неї. Їхня місткість визначається кількістю мулу від разового випуску з первинних відстійників або метантенків. Місткість резервуара станцій перекачування циркулюючого активного мулу визначається 15-хвилинною подачею найбільшого зі встановлених насосів.

Залежно від розташування окремих споруд станцій очищення стічних вод та їхньої висотної схеми на насосній станції для перекачування осаду з первинних відстійників можуть бути встановлені і насоси для перекачування ущільненого активного мулу. До того ж залежно від необхідної подачі, ущільнений активний мул можна перекачувати насосами для перекачування осаду з первинних відстійників або встановлювати для цього спеціальні насоси. У ряді випадків приймальний резервуар сирого осаду (з первинних відстійників) можна використовувати і для прийому ущільненого активного мулу з мулоущільнювачів.

Приймальні резервуари мулових насосних станцій часто використовують як дозуючу ємність для завантаження метантенків, а також як накопичувачі технічної води (або очищеної стічної рідини) для промивання мулопроводів. У цих випадках вони мають бути з двох однакових відділень, сполучених перепускною трубою з встановленою на ній засувкою. Ухил для резервуара до напрямку повинен бути не менше 0,15–0,20. Для запобігання ущільнення осаду в

резервуарі необхідно передбачати його перемішування. Крім того, в резервуарах проектують трубопроводи для їхнього промивання. Промивання резервуарів і трубопроводів здійснюють зазвичай очищеною стічною рідиною.

Під час перекачування осадів деяких виробничих стічних вод, наприклад осадів металургійного виробництва (газоочищення доменного цеху), що містять абразивні речовини, застосовують насоси та обладнання, виконані з матеріалів, стійких до стирання. Резервуари та шламопровідні комунікації в такому разі проектують так, щоб попередити можливість скупчення й ущільнення осаду.

Контрольні запитання до розділу 3

1. Наведіть класифікацію насосних станцій водовідведення?
2. Наведіть схеми окремих та сполучених КНС. У чому полягають відмінності у їхньому влаштуванні?
3. Як визначити місце розташування КНС?
4. Наведіть алгоритм визначення місткості приймального резервуара на підставі аналізу графіка добового надходження стічних вод та роботи КНС.
5. Яким чином призначається основне та резервне устаткування на КНС?
6. Назвіть особливості розрахунку та конструювання усмоктувальних та напірних трубопроводів на КНС.
7. Наведіть основні види конструкцій приймального резервуара КНС. Чим він обов'язково має бути обладнаний?
8. Яким є головне призначення обладнання для видалення механічних домішок зі стічних вод, які надходять у КНС?
9. Наведіть конструкцію та головні переваги насосів зануреного типу.
10. У чому полягають особливості проектування насосних станцій з установленим зануреним агрегатом?
11. Наведіть основні особливості проектування КНС із зануреними агрегатами «мокрого» установлення.
12. Наведіть основні особливості проектування КНС із зануреними агрегатами «сухого» установлення.
13. Наведіть основні особливості проектування КНС, корпус якої виконано з полімерного матеріалу.
14. Назвіть основні причини виконання сучасних КНС з вертикальним розділенням приймального резервуара та з горизонтальним його розміщенням.
15. У якій послідовності виконується монтаж КНС зі скловолокна?
16. У чому полягають основне призначення та особливості влаштування насосних станцій для перекачування мулу й осадів стічних вод.

Тестові завдання

1. На які групи поділяються КНС за видом стічної рідини, що перекачується?

- А. Господарсько-побутові.
- Б. Зливні.
- В. Циркуляційні.
- Г. Промислові.
- Д. Шламові.
- Е. Іригаційні.

2. Де має бути розташована головна КНС?

- А. Безпосередньо на колекторі.
- Б. Наприкінці головного колектора.
- В. Біля будинку, від якого відводяться стічні води.
- Г. На колекторі, який відводить стічні води з частини каналізованої території.

3. Якою має бути регулююча місткість приймального резервуара?

- А. Не менше годинної подачі одного (найбільш потужного) насоса.
- Б. Не менше 5-хвилинної подачі одного (найбільш потужного) насоса.
- В. Не менше 30-хвилинної подачі одного (найбільш потужного) насоса.
- Г. Не менше 80-хвилинної подачі одного (найбільш потужного) насоса.

4. Яке обладнання має бути у приймальному резервуарі КНС?

- А. Піскоуловлювач.
- Б. Решітки – дробарки.
- В. Ґрати.
- Г. Аератор.

5. Які переваги мають насоси зануреного типу?

- А. Насосна станція може мати тільки підземну частину.
- Б. Відсутня усмоктуюча лінія під час «мокрого» установлення насоса.
- В. Збільшується енергоспоживання.
- Г. Зменшується енергоспоживання.

6. Якою має бути швидкість руху стічної рідини у приймальному резервуарі КНС для забезпечення стабільної роботи насоса зануреного типу?

- А. 0,6 м/с.
- Б. 0,3 м/с.
- В. 0,8 м/с.
- Г. 1,5 м/с.

7. Де має бути розташований лоток підвідного колектора під час підключення його до КНС?

- А. Нижче рівня води у приймальному резервуарі.
- Б. На рівні води у приймальному резервуарі.
- В. Вище рівня води у приймальному резервуарі.
- Г. Біля дна КНС.

8. У якому випадку використовують КНС з полімерних матеріалів з вертикальним розділенням корпусу?

А. У разі використання насосів, вісь яких розташована вище рівня води.

Б. На об'єктах з нерівномірним надходженням стоків.

В. У разі використання насосів, вісь яких розташована нижче рівня води.

Г. У разі використання горизонтальних відцентрових насосів.

Відповіді до тестових завдань

№ питання	Варіанти правильних відповідей
1	А; Б; Г; Д.
2	Б.
3	Б.
4	Б; В..
5	А; Б; Г.
6	А.
7	В.
8	А.

РОЗДІЛ 4

ПОВІТРОДУВНІ СТАНЦІЇ

Повітродувна станція – комплекс елементів та устаткування, що забезпечує технологічні процеси систем водопостачання і водовідведення стисненим повітрям (газом).

У системах водопостачання компресорні установки і повітродувні станції забезпечують подачу стисненого повітря для роботи ерліфтів, інших видів піднімальних пристроїв та апаратів.

У реагентному господарстві очисних споруд водопроводу для інтенсифікації процесів розчинення коагулянту й розведення його концентрованих розчинів виконують перемішування в розчинних баках стисненим повітрям (барботаж).

У системах водовідведення повітродувні станції забезпечують стисненим повітрям роботу аеротенків, преаeratorів, змішувачів, стабілізаторів мулу, реагентного господарства, вакуум-фільтрів й інших споруд.

До складу великих повітродувних станцій входять:

- головна будівля станції з основним і допоміжним устаткуванням;
- споруди для охолодження води (градирні, басейни).

Повітродувні станції можуть поєднуватися в один блок з насосними станціями. Робота повітродувних станцій забезпечується роботою компресорних установок, у складі яких основними елементами є повітродувні машини (компресори) [1–4, 46].

Поза залежністю від принципу дії й конструктивного виконання **компресором** називають гідравлічну машину, що перетворює енергію двигуна в енергію стиснення та переміщення газу.

Повітродувні машини (компресори) розрізняють за способом створення напору:

- за допомогою вентиляторів – гідромашин, що переміщують газ з напором до 1,5 м вод. ст. (1 500 мм вод. ст.);
- за допомогою повітродувок (турбоповітродувок, нагнітачів) – гідромашин, що транспортують газ з напором до 0,3 МПа та працюють без штучного охолодження; як повітродувки використовують ротаційні нагнітачі, що розвивають тиск до 0,3 МПа (3 кг/см²);
- за допомогою турбокомпресорів – гідромашин, що подають газ під тиском більше 0,3 МПа та працюють зі штучним охолодженням.

Класифікація повітродувок. Усі моделі повітродувок можна поділити на три групи залежно від принципу дії та технічних особливостей:

1. **Лопатеві повітродувки**, основною деталлю яких є лопать, що закріплена на втулці під визначеним кутом. Починаючи рухатись, вона переміщує повітряні маси або інше робоче середовище, скеровуючи його за віссю пристрою. Застосовують лопатеві повітродувки у тому разі, якщо необхідно подати великий об'єм повітря під невеликим тиском. Моделі лопатевих повітродувок поділяють на відцентрові та осьові.

2. Для *поршневих повітродувок* основним елементом конструкції є поршень. Здійснюючи зворотно-поступальний рух, він всмоктує значні об'єми повітря або іншого робочого середовища, потім подає його у потрібному напрямку під великим тиском. Поршневі моделі повітродувок повністю автоматизовані.

3. *Об'ємні або роторні повітродувки* – окрема група, до якої належать моделі шестерних, пластинчатих та зубчатих повітродувок, а також пристрої Лисхольма та Рутса. У їх конструкціях спостерігаються деякі непринципові відмінності, але головною об'єднуючою ознакою є наявність ротора, який розміщений в середині корпуса. Роторні повітродувки відрізняються високими показниками роботи.

Компресор виконує такі операції:

- усмоктування повітря (газу) за постійного тиску p_1 ;
- стиснення газу від тиску p_1 до тиску p_2 (ступінь стиснення $E = \frac{p_2}{p_1}$);
- нагнітання стисненого повітря за постійного тиску p_2 . Повний напір компресора, H , м:

$$H = \int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{\gamma} + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2g}, \quad (4.1)$$

де: $\int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{\gamma} = H$ – статичний (п'єзометричний) напір, м;

$\frac{C_2^2 - C_1^2}{2g} = H_p$ – швидкісний (динамічний) напір.

Після перетворення повний напір H , мм вод. ст., дорівнює:

$$H = p_2 - p_1 + \frac{\gamma(C_2^2 - C_1^2)}{2g}. \quad (4.2)$$

4.1 Класифікація повітродувних станцій

Повітродувні станції класифікують як за призначенням, так і за рядом ознак, які визначаються типом і конструктивними особливостями основного устаткування.

Розрізняють такі види повітродувних станцій:

а) за створюваним тиском стисненого повітря в системі:

- високого тиску,
- низького тиску;

б) за типом основного устаткування:

- з об'ємними гідромашинами (компресорами),
- з відцентровими повітродувками;

в) за кількістю ступенів компресорів:

- з одноступеневими компресорами,
- з багатоступеневими повітродувками (компресорами);

- г) за видом охолодження компресорів:
 - з нагнітачами без штучного охолодження,
 - з компресорами зі штучним охолодженням;
- д) за типом приводних двигунів:
 - з електродвигунами,
 - з двигунами інших типів.

Вибір того чи іншого типу повітродувної станції для конкретного виробництва визначається за значеннями розрахункових параметрів станції: за кількістю стисненого повітря (газу), споживаного в системі, і за необхідним тиском нагнітання.

Потужність повітродувної станції N , кВт:

$$N = \frac{0,0273 \cdot Q \cdot p}{\eta_a}, \quad (4.3)$$

де Q – подача повітродувної станції, м³/год;

p – тиск стисненого повітря, атм;

η_a – ККД агрегата, %.

Робота повітродувних станцій і компресорних установок забезпечується роботою повітродувних машин (компресорів).

Класифікація повітродувних машин за конструктивними особливостями та принципом дії наведена на рисунку 4.1. Об'ємні гідромашини працюють за принципом витиснення; лопатеві – за принципом використання відцентрових сил. Принцип дії об'ємних і лопатевих компресорів ідентичний до роботи насосів, що перекачують краплинні рідини. Головна відмінність між ними полягає в тому, що компресори переміщують повітря, гази, які легко змінюють свій обсяг під впливом температури й тиску, під час їхньої роботи відбуваються теплові процеси.

На відміну від краплинної рідини, фізичні властивості газів функціонально залежать від температури й тиску. Гази мають здатність розширюватися й стискуватися в широких межах. Процес руху газів пов'язаний із внутрішніми термодинамічними процесами.

Зміна тиску в циліндрі під час стиснення газу відбувається залежно від термодинамічних умов стиснення. Процеси стиснення газу в компресорі можуть бути такими:

- ізотермічні (незмінна температура: $T_1 = T_2 = \text{const}$);
- адіабатичні (відсутній теплообмін: $Q = 0$);
- політропічні, з підведенням або відведенням тепла.

У разі *ізотермічного стиснення* тепло відводиться максимально. Процес ізотермічного стиснення вимагає мінімальної роботи. Практично, за допомогою охолодження вдається відводити від компресора тільки частину тепла. В охолоджуваному компресорі на початку стиснення політропічна лінія наближається до адіабати, а наприкінці стиснення – до ізотерми.

Адіабатичний процес стиснення відбувається без теплообміну із зовнішнім середовищем, без охолодження температура газу підвищується.

Ізотермічний процес стиснення відбувається за умови повного відведення тепла; тепло, яке виділяється під час стиснення газу, повністю відокремлюється від компресора системою охолодження, температура газу під час стиснення не підвищується.

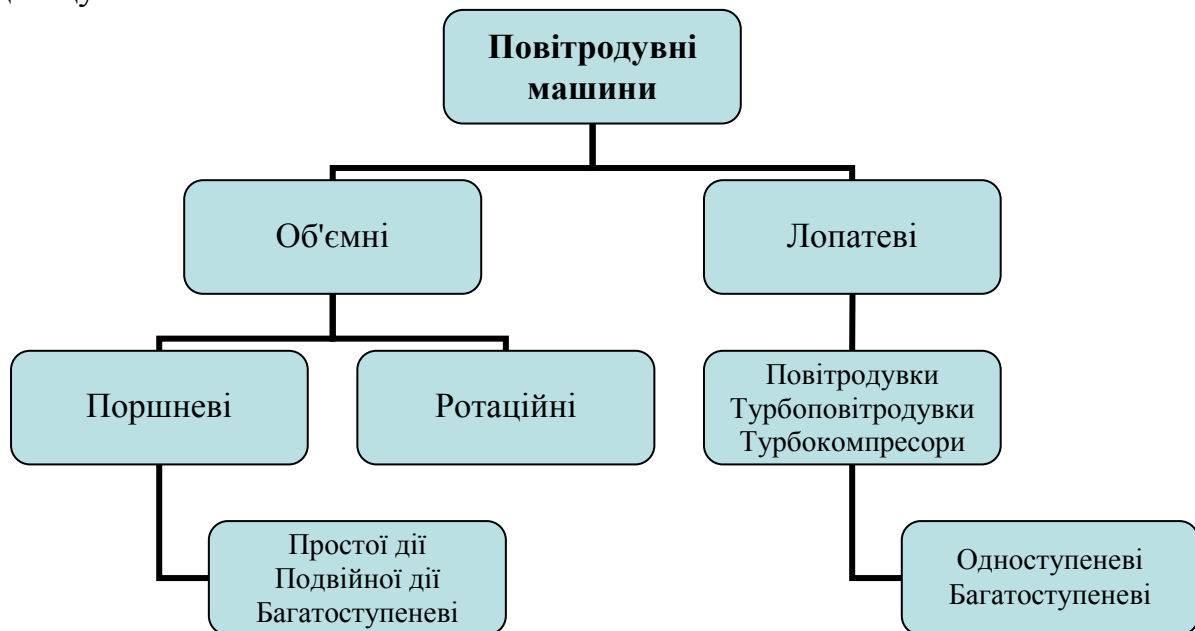


Рисунок 4.1 – Класифікація повітродувних машин за конструктивними особливостями та принципом дії

Політропічний процес стиснення, що наближається до ізотермічного, має місце в реальних умовах стиснення газу під час відведення тепла від компресора за допомогою холодної води, що циркулює у водяній сорочці циліндра.

Витрати потужності компресора з відведенням тепла під час політропічного процесу стиснення газу практично наближається до витрат потужності, що відповідає ізотермічному процесу. Максимальне наближення політропічного процесу стиснення до ізотермічного обмежується доцільністю витрати холодної води й конструктивною особливістю робочого циліндра. Звичайно приймають різницю температури вхідної й вихідної води 5–10 °С; за більшої різниці температур – збільшують приплив води, що охолоджує.

Основні елементи *компресорної установки* подані на схемі (рис. 4.2). Для забезпечення надійності та безпечної експлуатації компресорна установка має необхідну арматуру та контрольно-вимірювальні прилади та пристрої [47].

Приміщення для установа компресорів мають бути просторими, сухими, світлими і добре вентильованими. Компресори з продуктивністю вище 15 м³/хв встановлюються в окремих одноповерхових будівлях. Забір повітря для стиснення зазвичай беруть ззовні будинку, з північної сторони, тому що в цьому разі повітря, що засмоктується, більш прохолодне. Під час вибору місця забору повітря необхідно перевірити, чи немає поблизу цехів, які випускають велику кількість газів і пилу, а також напрямок пануючих вітрів. Приймальний отвір усмоктуючого повітропроводу розташовують на висоті 1,25–1,5 м від рівня землі і затягують мідною сіткою, а зверху влаштовують захисний дашок

від можливих ударів, атмосферних опадів і сторонніх предметів.

Неправильне обладнання компресорних установок і їхня незадовільна експлуатація може спричинити вибухи та аварії з можливими тяжкими наслідками на окремих її ділянках.

Безпосередніми причинами аварій та вибухів компресорних установок, як свідчить практика, можуть бути такі:

- надмірне підвищення температури стисненого повітря і перегрівання частин компресорної установки;
- запиленість і вологість засмоктаного повітря;
- розряди статичної електрики;
- швидке підвищення тиску повітря в компресорній установці вище допустимого;
- неправильний монтаж компресорної установки;
- неправильна експлуатація установки і незадовільний догляд за нею.

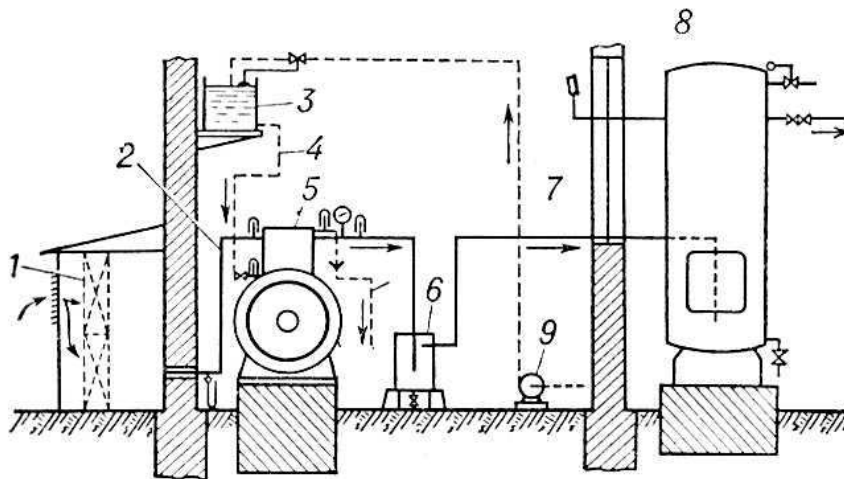


Рисунок 4.2. – Схема компресорної установки:

- 1 – повітряний фільтр;
- 2 – всмоктуючий трубопровід;
- 3 – резервуар з водою для охолодження компресора;
- 4 – трубопровід подачі води для охолодження;
- 5 – компресор;
- 6 – проміжний накопичувач;
- 7 – подавання стисненого повітря;
- 8 – повітрярозбірник;
- 9 – циркуляційний насос

Стиснення повітря в компресорі без застосування охолодження супроводжується підвищенням температури стисненого повітря, що призводить до нагрівання частин компресора. За високих температур можливе перегрівання стінок циліндра компресора і втрата ними механічної міцності, що може спричинити вибух компресора. Крім того, у разі рясного змащення циліндра компресора і високої температури стисненого повітря масло прикипає до внутрішніх стінок циліндра і потрапляє в димарі й акумулятори компресорної установки. Під дією високої температури стисненого повітря мастило розкладається з виділенням газів і парів (зокрема ацетилену), які в суміші з

повітрям можуть згоряти з вибухом. На внутрішніх поверхнях повітропроводів може також утворитися окісна плівка масла. Утворення окисних сполук загрожує вибухом під час нагрівання, удару або струсу.

Основним попереджувальним заходом проти перегрівання є охолодження компресора, яке може бути повітряним і водяним. Повітряне охолодження застосовується в тому разі, коли тиск стисненого повітря не перевищує 2 кгс/см^2 ; водяне – за більш високих тисків стиснення.

Водяне охолодження полягає в безперервній примусовій циркуляції холодної води в сорочці циліндра компресора – від системи водопроводу або спеціального охолоджувального пристрою. До того ж температура води, що виходить з компресора, повинна бути не більше ніж на $25\text{--}30^\circ\text{C}$ вище температури води, що надходить у компресор. Водяне охолодження має відбуватися безперервно. Для спостереження за дією водяного охолодження воду з водяної сорочки компресора необхідно випускати в каналізацію відкритим струменем на видному місці.

Водяне охолодження під час безперервної циркуляції води в сорочках циліндрів компресорної установки уможливорює доведення стиснення повітря до 7 кгс/см^2 без підвищення температури повітря. Для компресорів з двома і більше ступенями стиснення передбачається охолодження повітря на кожному ступені за допомогою аналогічних охолоджуючих пристроїв. Вода, що застосовується для охолоджувальної системи, повинна бути чистою і нежорсткою. Забруднена і жорстка вода може залишати на стінках водопровідних труб і водяної сорочки охолоджуваних циліндрів осади, які ускладнюють тепловіддачу і циркуляцію води.

Сухе і чисте повітря, яке засмоктується компресором для стиснення, є однією з важливих умов безпечної його роботи. Наявність пилу і вологості в стиснутому повітрі може мати низку небезпечних наслідків для компресорної установки; осаджуючись разом з вологою та парами мастильного масла на стінках циліндрів і повітропроводів, пил роз'їдає їх і погіршує умови охолодження, до того ж утворюється нагар на поршнях, поршневих кільцях, клапанах та інших частинах компресорної установки. Нагар і пил можуть займатися з вибухом від високої температури стиснутого повітря або від розряду статичної електрики. Волога, накопичуючись у циліндрах компресорної установки, може спричинити гідравлічні удари під час руху поршнів і призвести до поломки частин компресорної установки. Наявність у стиснутому повітрі сухого пилу призводить до виникнення зарядів статичної електрики, розряди якого спричиняють займання залишків мастила.

Разом з правильним вибором місця забору повітря і оснащенням забірної отвору на забірній трубі необхідно встановити фільтр для очищення повітря від пилу. З цією метою найчастіше застосовують сухі фільтри, які легше очищувати від затриманого ними пилу. Для видалення вологи з повітря на магістральному повітропроводі встановлюють вологовідокремлювач.

Компресорний агрегат – це компресор, якій агрегатують із приводним двигуном. Як приводні двигуни застосовують електродвигуни, двигуни внутрішнього згорання тощо.

Поршневі компресори створюють високий ступінь стиснення $E = p_2/p_1$ за відносно невеликої подачі повітря або газу, мають високі коефіцієнти корисної дії; їхнє доцільно застосовувати за тисків у системі більше 10 кг/см² (1 МПа) та подачах не більше 100–150 м³/хв.

Розходження в роботі поршневого насоса та поршневого компресора полягає в тому, що поршень насоса подає рідину протягом усього нагнітального циклу, а компресор виштовхує газ у нагнітальну трубу після того, як тиск у циліндрі компресора перевищить тиск у напірному трубопроводі.

Поршневі компресори класифікуються так:

- за способом дії – простої та подвійної дії;
- за розташуванням циліндрів – горизонтальні, вертикальні, з похилими циліндрами;
- за кількістю ступенів стиснення – одно -, дво -, багатоступеневими;
- за способом охолодження – з повітряним, з водяним охолодженням;
- за призначенням – повітряні, кисневі, аміачні, вуглекислотні тощо.

Робота поршневого компресора описується індикаторною *pV-діаграмою*, зміна якої, у порівнянні з нормальною, вказує на неправильну роботу компресора [46].

Якщо потрібно отримати газ під високим тиском, застосовують багатоступеневе стиснення (багатоступеневі компресори).

Для створення економічності процесу та наближення процесу стиснення до ізотермічного, застосовують дво- і багатоступеневе стиснення газу із проміжним охолодженням між ступенями.

Турбокомпресори – відцентрові гідромашини, що працюють за принципом відцентрових насосів; за відносно великих подач газу вони створюють невеликий тиск (0,15–1,0 МПа). Для збільшення ступеня стиснення повітря застосовують багатоступеневі гідромашини – на одному валу розташовано декілька послідовно працюючих коліс.

Турбоповітродувки – відцентрові машини, що стискають газ до 0,3 МПа. Кількість ступенів $z = 3-4$. Охолодження не застосовують.

Турбокомпресори створюють більш високий тиск. Кількість ступенів – до 10 і більше. Охолодження не застосовується. Процес стиснення в повітродувках відбувається за адіабатою.

Основне рівняння турбоповітродувки та турбокомпресорів для теоретичного напору H_m , м таке:

$$H_m = \frac{c_2 \cdot u_2 \cdot \cos \alpha_2}{g}, \quad (4.4)$$

де c_2 – абсолютна швидкість на виході з лопатки робочого колеса, м/с;

u_2 – окільна швидкість, м/с.

Повітрозбірник (ресивер) здійснює регулюючі функції, згладжує короточасне розходження між подачею компресора й витратами повітря в системі. Ресивер під час зростання тиску в системі приймає надлишок газу, а під час зниження – віддає в мережу.

Разом з тим, зі зменшенням витрати газу споживачами тиск у ресивері (збирачі газів) збільшується й може перевищити припустимі значення. У такому разі необхідно привести подачу компресора у відповідність із витратами газу в системі, що вимагає зниження подачі нижче розрахункової величини.

Ресивер обладнується пристроями для вловлювання масла, сепарації сконденсованої вологи, запобіжними клапанами, спускним краном і манометром. Задля безпеки роботи працівників збирачі газів повинні встановлюватися поза приміщеннями повітродувних станцій.

Обсяг ресивера залежить від ступеня нерівномірності подачі стисненого повітря й ступеня стиснення.

У компресорних установках невеликої продуктивності охолоджувачі газу (вертикальні або горизонтальні теплообмінники) розташовуються безпосередньо на блоці циліндрів компресора, а для потужніших установок – поблизу компресорів як окремо розташовані апарати.

Розрахунок повітроводів (газопроводів) складається з підбору діаметрів труб і визначення втрат напору. Швидкість руху повітря в головному й розподільних повітроводах приймають близько $V = 10\text{--}15$ м/с, у повітроводах малих діаметрів $V = 4\text{--}5$ м/с. Розрахунок діаметрів, втрат напору виконують за формулами гідравліки.

З метою очищення газу (повітря) від пилу, інших домішків на усмоктувальній трубі повітряного компресора встановлюють газові фільтри (масляні).

Запобіжні клапани встановлюються між ступенями компресора на проміжних охолоджувачах і ресивері для запобігання надмірного підвищення тиску в установці.

До складу допоміжного устаткування повітродувних станцій належать такі контрольно-вимірні апарати: манометри та термометри.

Манометри встановлюються:

- на проміжних охолоджувачах і ресивері для спостереження за тиском газу в системі;
- на напірному патрубку масляного насоса для контролю за тиском масла в системі змащення;
- на напірному колекторі холодної води для контролю за тиском холодної води системи охолодження компресора.

Термометри контролюють температуру:

- повітря перед кожним охолоджувачем і за ним;
- повітря на виході з компресора;
- холодної води в колекторі й на виході із сорочок циліндрів і всіх охолоджувачів.

Реєструються показники електричних приладів, що контролюють потужність, яка споживається електродвигунами, а також показники витратомірів компресорів.

У системах газопостачання витрати стисненого газу можуть змінюватися в широкому діапазоні залежно від роду споживача і його режиму роботи. Подача стисненого газу повітродувними станціями й витрата його споживачами

повинні бути збалансовані.

Відомі такі способи регулювання подачі компресорів:

- зміна частоти обертання приводного валу компресора;
- примусове відкриття всмоктувальних клапанів;
- перепуск газу з нагнітальної труби в усмоктувальну;
- дроселювання в усмоктувальних трубах;
- підключення додаткового «шкідливого» простору.

Зміна кількості обертів вала компресора застосовується у агрегатах із двигунами, що дають змогу оперативно змінити частоту обертання. Використовувати цей прийом у розповсюджених типах електродвигунів не можна. Регулювання за цим способом можливе лише під час застосування двигунів, які можуть змінювати кількість обертів.

Примусове відкриття усмоктувальних клапанів знижує подачу компресора, призводить до його переходу, залежно від ступеня відкриття, на частковий або повний холостий хід. Приймають повне відкриття усмоктувальних клапанів на частині ходу поршня.

Перепуск газу з нагнітальної труби в усмоктувальну може бути вільним або дросельним за байпасною лінією. Регулювання здійснюється за допомогою байпасного вентиля.

Дроселювання в усмоктувальному трубопроводі спричиняє падіння тиску під час усмоктування. Ступінь стиснення збільшується, об'ємний ККД зменшується, зменшується й подача. Застосування зазначеного способу регулювання неекономне, тому що збільшується витрата енергії на кожен кілограм стисненого газу.

Підключення додаткового «шкідливого» простору передбачає конструктивні зміни кришки циліндра, створення в ній порожнини, що підключає до шкідливого простору. Зміна обсягу шкідливого простору спричиняє зміну подачі компресора.

4.2 Обладнання повітродувних станцій

Повітродувна станція – це комплекс компресорних агрегатів, призначений для централізованого повітропостачання систем водопостачання й каналізації [1–3, 46].

Розрахункова максимальна об'ємна продуктивність станції $V_{\max}$:

$$V_{\max} = 1,3 \cdot V_{cp}, \quad (4.5)$$

де V_{cp} – середня витрата стисненого повітря.

Середня витрата стисненого повітря V_{cp} залежить від:

- кількості споживачів;
- середньої потреби споживачів щодо повітря;
- коефіцієнтів одночасності роботи.

Тип і кількість робочих компресорів обирають залежно від $V_{\max}$ і робочого тиску стисненого повітря. Встановлюється також резерв.

До складу обладнання станції входять:

- основне устаткування (компресори – двигуни);
- допоміжне та механічне устаткування (фільтри, повітрозбірники, система охолодження, система постачання масла, КВП і А тощо);
- система повітроводів.

Кожен компресор має ресивер (сталевий резервуар-повітрозбірник), що встановлюється на виході з повітродувки.

Функції ресивера:

- ємність – акумулятор, який вирівнює коливання тиску під час нерівномірного відбору стисненого повітря;
- звільнення стисненого повітря від парів масла й вологи, що конденсуються під час охолодження повітря в резервуарі, за допомогою сепаратора.

Ємність резервуара $V_{рез}$, $м^3$ визначається за емпіричними формулами, залежно від продуктивності компресора V , $м^3/хв$.

Труба, що підводить (нагнітальна), опускається у ресивері до дна, а випускна труба знаходиться вгорі резервуара. Для спускання вологи й масла вниз резервуара розташований спускний кран. Для надійної сепарації масла до ресивера можуть бути встановлені водо- і масловідокремлювачі.

Резервуар забезпечується запобіжним клапаном і манометром.

На нагнітальній трубі до ресивера не можна встановлювати запірний клапан (засувку), тому що пуск компресора, за наявності такої закритої засувки, призведе до поломки й вибуху компресора.

У цьому місці встановлюється тільки зворотний клапан, що не допускає зворотного руху газу під час зупинки компресора. На виході магістрального повітроводу з ресивера встановлюють засувку.

Повітря підводиться до компресора усмоктувальною трубою через жалюзі й масляний фільтр, вони забезпечують забір чистого повітря без пилу й сторонніх включень.

Усмоктувальна труба не повинна нагріватися, тому що підвищення температури усмоктуваного повітря знижує продуктивність компресора.

Для підвищення надійності подачі холодної води на станції може бути встановлений резервний бак.

4.2.1 Поршневі компресори

На рисунку 4.3 подана індикаторна діаграма теоретичного робочого процесу поршневого компресора.

Під час розгляду ідеального циклу поршневого компресора приймають такі припущення:

1. Відсутні опори рухові потоку газу (зокрема й у клапанах).
2. Тиск і температура газу у всмоктуючій та нагнітальній лініях постійні.
3. Тиск і температура газу в період усмоктування, як і в період виштовхування газу з циліндра, не змінюються.
4. Мертвий (шкідливий) простір у циліндрі компресора відсутній.
5. Немає втрат потужності на тертя та витоків газу.

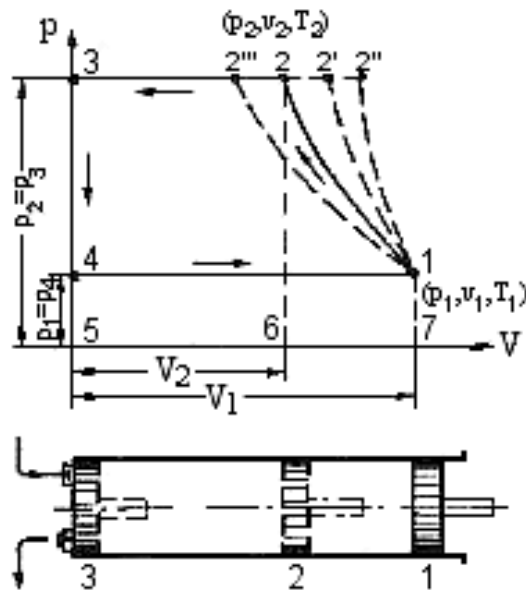


Рисунок 4.3 – Індикаторна діаграма теоретичного робочого процесу поршневого компресора

Відповідно до індикаторної діаграми ідеального циклу, поданій на рисунок 4.3, процес стиснення газу поршнем характеризують криві 1–2. Під час ізотермічного процесу – крива 1–2''', під час адіабатичного – 1–2'', а під час політропічного – 1–2 або 1–2''. Розглядаючи політропічний процес 1–2, усвідомлюємо, що за цей період циклу об'єм газу зменшиться з V_1 до V_2 , тиск зміниться від p_1 до p_2 , а температура – від T_1 до T_2 . Далі відбувається нагнітання газу в трубопровід 2–3. Тиск і температура газу залишаються в цей період незмінними (p_2 та T_2). Весь об'єм газу V_2 переходить в нагнітальний трубопровід. За період 3–4 у циліндрі знижується тиск до тиску в усмоктувальному трубопроводі (p_1), закривається нагнітальний клапан і з початком руху поршня вправо відкривається усмоктувальний клапан. Період усмоктування характеризується лінією 4–1. Тиск і температура газу дорівнюють p_1 та T_1 , в циліндр надходить об'єм газу, який дорівнює V_1 .

Робота стиснення газу від тиску всмоктування p_1 до тиску нагнітання p_2 у циліндрі компресора за час одного циклу характеризується площею індикаторної діаграми, яка обмежена лініями, що поєднують точки 1–2–3–4. У разі ідеального процесу, коли виключені всі непродуктивні втрати енергії, енергія, що витрачається, дорівнює корисній. Таким чином, індикаторна діаграма в цьому разі дає загальну величину роботи, що витрачається, і корисної роботи.

Під час ізотермічного процесу газ стискається без нагрівання і виходить з меншою температурою, ніж під час адіабатичного або політропічного процесів.

Оскільки компресор призначений тільки для стиснення та переміщення газу, то підвищення його температури не є корисною частиною роботи. З огляду на це ізотермічний процес (без нагрівання газу) більш вигідний. Під час цього процесу на стиснення газу від тиску p_1 до тиску p_2 витрачається менше енергії (рис. 4.3, площа 1–2'''–3–4 найменша).

Однак ізотермічний процес важко здійснити на практиці, і компресори працюють у разі політропічного або адіабатичного процесу.

На рисунку 4.4 подана індикаторна діаграма дійсного робочого процесу в компресорі.

Перекручування дійсної індикаторної діаграми, у порівнянні з теоретичною, пояснюють реальними процесами, а саме:

- наявністю обсягу шкідливого простору, V_0 ;
- подоланням гідравлічних опорів у прохідних каналах;
- витоками й нагріванням газу під час його руху через клапани тощо.

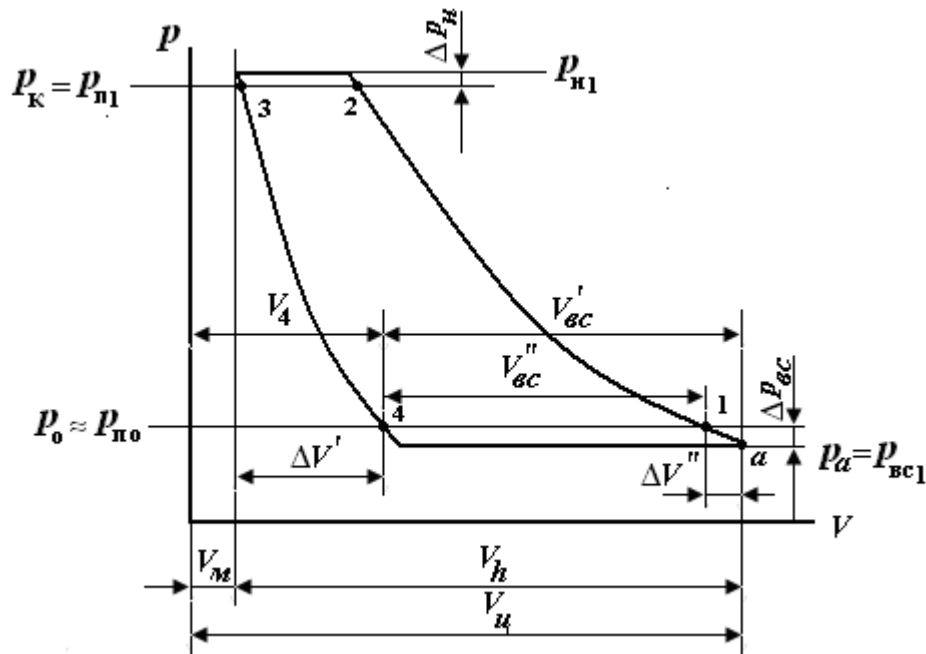


Рисунок 4.4 – Індикаторна діаграма дійсного робочого процесу в компресорі

Не весь газ витісняється із циліндра під час нагнітання лінією 3–4; частина газу залишається в циліндрі в обсязі шкідливого простору V_0 з тиском p_2 . Під час зміни циклу нагнітання на цикл усмоктування обсяг V_0 розширюється до V'_0 , а тиск газу знижується від p_2 до p_1 .

Тільки після цього почнеться усмоктування лінією 1–2. До того ж фактичний усмоктуваний обсяг газу ($V'_{вс}$) завжди менший за обсяг циліндра (V_1).

Об'ємний ККД компресора визначається за формулою:

$$\lambda_0 = \frac{V'_1}{V_1}. \quad (4.6)$$

Під час ізотермічного процесу об'ємний ККД буде визначатися за формулою:

$$\lambda_0 = 1 - E \cdot \left(\frac{P_2}{P_1} - 1 \right), \quad (4.7)$$

де E – шкідливий простір; приймають $E^{min} = 0,05$.

Дійсний ступінь наповнення циліндра компресора λ (внаслідок дії

гідравлічних опорів й інших реальних факторів) менший за його об'ємний ККД λ_0 . Приймають $\lambda = \lambda_0 - 0,04$.

Для отримання газу під високим тиском застосовують багатоступеневі компресори. Необхідність багатоступеневого стиснення у порівнянні з одноступеневим знаходить таке обґрунтування: з одного боку, під час збільшення ступеня стиснення p_2/p_1 об'ємний ККД компресора λ_0 зменшується.

За $\lambda_0 = 0$ граничний ступінь стиснення для ізотермічного процесу визначається за формулою (4.7).

$$1 - 0,05 \left(\frac{p_2}{p_1} - 1 \right) = 0, \text{ звідки } \frac{p_2}{p_1} = 21.$$

Реально припустимий ступінь стиснення визначається з умови $\lambda_0 = 0,7$:

$$1 - 0,05 \left(\frac{p_2}{p_1} - 1 \right) = 0,7, \text{ звідки } \frac{p_2}{p_1} = 7.$$

З іншого боку, стиснення газу супроводжується підвищенням температури (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Кінцева температура газу за різного ступеня стиснення

Ступінь стиснення повітря, p_2/p_1	Початкова температура $T_1, ^\circ\text{C}$	Кінцева температура $T_2, ^\circ\text{C}$
2	20	85
4	20	165
6	20	220
7	20	239
8	20	263

Гранична температура спалаху мастил $T_{\text{гран}} = 220\text{--}240\text{ }^\circ\text{C}$. Отже, виходячи з необхідності забезпечення нормальних умов роботи компресора, запобігання спалаху масла й утворення вибухонебезпечної суміші в циліндрі, максимальним ступенем стиснення вважають $p_2/p_1 = 6\text{--}7$.

Під час одноступеневого стиснення газу зі збільшенням ступеня стиснення p_2/p_1 , навіть у разі охолодження циліндра, процес стиснення за адіабатою не наближається до ізотермічного. З огляду на це економічність роботи компресора з високими значеннями об'ємного ККД λ_0 може бути досягнута використанням багатоступеневого стиснення газу з проміжним охолодженням ступенів (рис. 4.5).

Під час вибору кількості ступенів z ступінь стиснення в кожному ступені великих компресорів приймають до $E = P$; для малих – трохи більше.

Залежно від стиснення газу кількість ступенів приймають:

- під час стиснення газу до $5\text{--}7\text{ кг/см}^2$ ($0,5\text{--}0,7\text{ МПа}$) – I ступінь;
- під час стиснення до $2,5\text{ кг/см}^2$ ($2,5\text{ МПа}$) – II ступеня;
- під час стиснення до 125 кг/см^2 ($12,5\text{ МПа}$) – III ступеня;

- понад 125 кг/см^2 (12,5 МПа) – IV і більше ступенів.

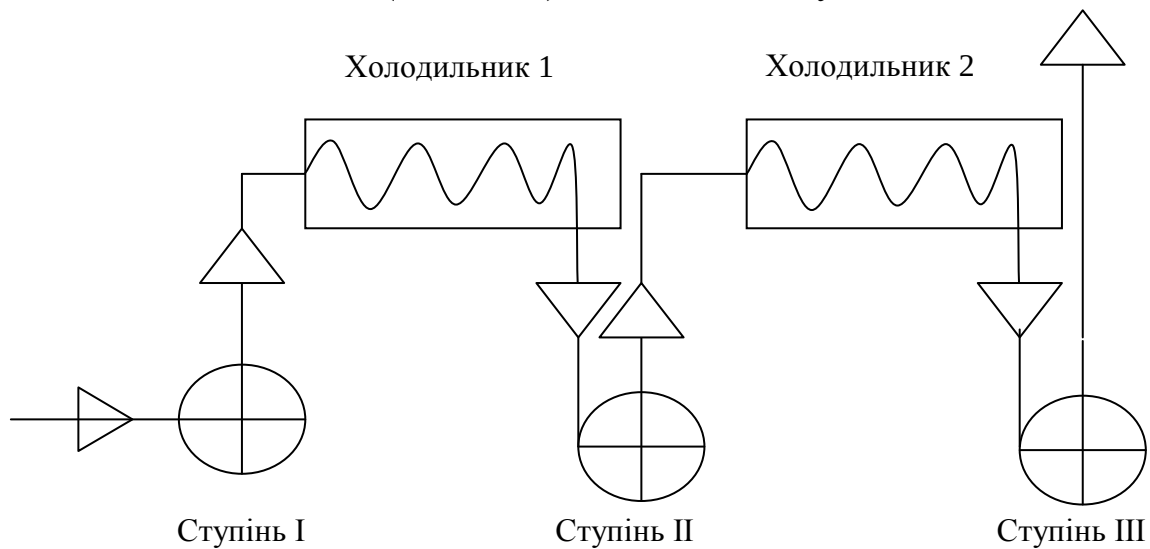


Рисунок 4.5 – Трьохступенева компресорна установка з охолодженням кожного ступеня

Можливі схеми багатоступінчастих поршневих компресорів:

1. Із ступенями стиснення в окремих циліндрах:

- з послідовним з'єднанням циліндрів;
- з паралельно з'єднаними циліндрами.

2. Із диференційними поршнями та декількома ступенями стиснення в одному циліндрі.

Визначення розрахункових параметрів роботи компресора на заданий повітровід виконується залежно від кількості обертів графічним методом, розрахункові параметри визначаються точкою перетину двох характеристик – компресора і повітроводу.

Регулювання продуктивності поршневих компресорів. Залежно від споживання повітря продуктивність може змінюватися в широких межах.

Регулювання подачі компресора здійснюється за постійної кількості обертів такими методами:

- вплив на усмоктувальні клапани;
- зміна величини «шкідливого» простору;
- зміна початку стиснення повітря;
- дроселювання усмоктувального трубопроводу;
- перепуск газу з нагнітальної труби в усмоктувальну.

Під час роботи приводу компресора від двигунів внутрішнього згорання або парової машини регулювання продуктивності виконують шляхом зміни кількості обертів.

Оскільки компресори підбирають з урахуванням розрахункової подачі стисненого газу, яка трохи перевищує максимальну витрату газу споживачами, регулювання продуктивності найчастіше спрямоване на зниження подачі й відновлення балансу енергій після зниження витрати стисненого газу.

Регулювання подачі шляхом відкриття усмоктувальних клапанів (у період

циклу нагнітання) призводить до переходу компресора на холостий хід, засмоктуваний газ виштовхується в усмоктувальну трубу.

У практиці застосовують повне відкриття усмоктувальних клапанів на частині ходу поршня.

Регулювання подачі можна робити пристроєм змінного «шкідливого» простору компресора, що дає змогу від'єднати або приєднати, за необхідності, частину цього простору до робочого процесу. Збільшення «шкідливого» простору призводить до зменшення подачі компресора.

Регулювання подачі зміною початку стиснення здійснюють за допомогою спеціального крану, що забезпечує перетікання газу із циліндра в усмоктувальну трубу під час зворотного ходу поршня, до того ж подача зменшується залежно від ступеня відкриття крана.

Регулювання подачі дроселюванням на усмоктуванні виконують шляхом введення регулюючого опору, що знижує тиск під час усмоктування від p_1 до $p_{1рег}$. Одночасно зменшується усмоктуваний обсяг газу й зменшується подача компресора.

Регулювання подачі шляхом перепускання частини газу з напірної труби в усмоктувальну здійснюють обвідним трубопроводом за допомогою байпасного вентиля. У цьому разі подача зменшується.

4.2.2 Ротаційні компресори

Ротаційні компресори, як і поршневі, працюють за принципом витиснення. Під час обертання ротора таких машин усередині корпуса утворюються дві камери (порожнини), обсяг яких змінюється [46, 47].

З одного боку машини обсяг порожнини збільшується (тиск падає), відбувається усмоктування газу; з іншого боку – зменшується (тиск росте), відбувається нагнітання.

Ротаційні компресори й повітродувки (внаслідок відсутності зворотно-поступального руху поршня), у порівнянні з поршневими машинами, мають урівноважений хід, рівномірну подачу, вони не мають клапанів.

Широко застосовуються як компресори, повітродувки й вакуум-насоси два типи ротаційних машин (рис. 4.6.):

- пластинчасті;
- з обертовими поршнями.

Подача пластинчастого компресора Q , $\text{м}^3/\text{с}$:

$$Q = l \cdot (\pi D - S \cdot z) \cdot 2E \cdot \frac{n}{60} \cdot \lambda, \quad (4.8)$$

де l – довжина ротора, м; $l = 1,2-2D$;

D – діаметр циліндра, м;

S – товщина пластини, м, $S = 0,001-0,004$ м;

z – кількість пластин;

E – ексцентриситет, м, $E = 0,05-0,1D$;

n – частота обертання ротора, хв^{-1} ;

λ – коефіцієнт подачі, $\lambda = 0,6-0,8$.

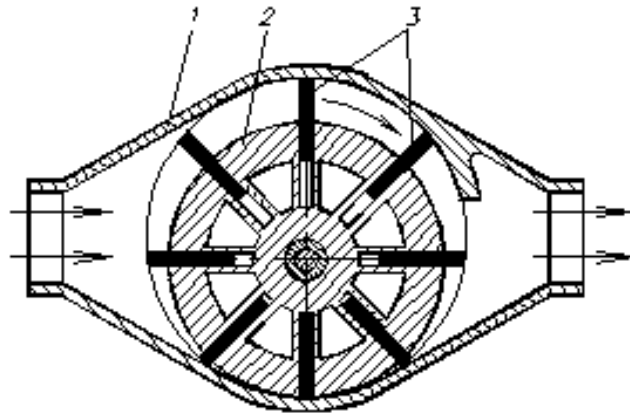


Рисунок 4.6 – Схема шибєрного (пластинчатого) компресора:
1 – корпус; 2 – ротор; 3 – пластини

Регулювання продуктивності ротаційних компресорів відбувається за допомогою таких методів:

- змінювання кількості обертів ротора, n ;
- дроселювання на вході в компресор;
- перепуск стисненого газу в усмоктувальний трубопровід.

Водокільцеві насоси застосовуються для створення вакууму й відсмоктування повітря та технічних газів (рис. 4.7).

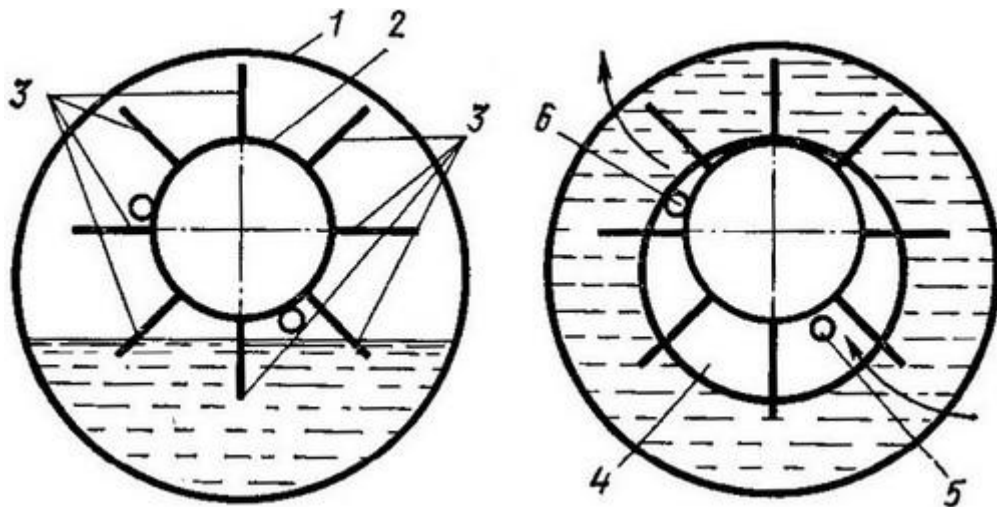


Рисунок 4.7 – Схема водокільцевого компресора:
1 – корпус; 2 – ротор; 3 – ребра, які виступають;
4 – серповидний повітряний простір;
5, 6 – отвори

Всередині циліндричного корпуса (1) ексцентрично розміщений ротор (2), який має ребра, що виступають (3). Перед пуском в корпус заливається вода, яка під час обертання ротора рівномірно відтискається до внутрішньої поверхні корпуса, утворюючи кільце. Вода заливається в такій кількості, щоб між ротором та внутрішньою поверхнею водяного кільця утворився серповидний повітряний простір (4), який перегороджується ребрами (3). Повітря засмоктується через отвір (5), який розташований у найширшій частині цього серповидного простору, і переноситься до іншого отвору (6), який

розташований у найвужчій частині, внаслідок чого відбувається стиснення. Вода, що нагрівається під час обертання кільця, поступово замінюється. Якщо води не вистачає, компресор перестає працювати.

Ці машини прості за конструкцією, можуть створювати значний вакуум, але ККД їх низький через витрати енергії на обертання водяного кільця.

Водокільцеві вакуумні гідромашини можуть усмоктувати й переміщувати як гази, так і краплинні рідини, вони застосовуються для створення вакууму й відсмоктування газів у технологічних процесах, входять до складу вакуум-систем насосних станцій для заповнення відцентрових та осьових насосів водою перед пуском.

Теоретично під час повного закриття дроселя на усмоктувальній трубі водокільцевий насос здатний створити в усмоктувальній порожнині тиск, який дорівнює тиску паротворення p_n .

Вакуум, що розвивається насосом $p_{\text{вак}}$, %:

$$p_{\text{вак}} = \frac{p_a - p_n}{p_a} \cdot 100, \quad (4.9)$$

де p_a – атмосферний тиск, кг/см^2 , $p_a = f_1(H_0)$;

p_n – тиск паротворення, кг/см^2 , $p_n = f_2(t_e^\circ\text{C})$.

Практично максимальний вакуум становить до 92 %.

Продуктивність водокільцевого вакуум-насоса Q , $\text{м}^3/\text{с}$:

$$Q = \left\{ \pi \left[\left(\frac{D_2}{2} - \alpha \right)^2 - \left(\frac{D_1}{2} \right)^2 \right] - Z(l - \alpha)S \right\} \frac{6n}{60} \eta_0, \quad (4.10)$$

де D_2 і D_1 – зовнішній і внутрішній діаметр ротора, м;

α – мінімальне занурення лопаті у водяне кільце, м;

Z – кількість лопатей;

l – радіальна довжина лопаті, м; $l = \frac{D_2 - D_1}{2}$;

S – товщина лопаті, м;

b – ширина лопаті, м;

n – кількість обертів ротора за хвилину, хв^{-1} ;

η_0 – об'ємний ККД, $\eta_0 \approx 0,96$.

4.2.3 Лопатеві компресори

У відцентрових повітродувках та компресорах, принцип дії яких подібний до роботи відцентрових насосів, стиснення повітря (газу) виконується під дією відцентрових сил, що розвиваються під час обертання робочих коліс.

Існують одноступінчасті й багатоступінчасті відцентрові повітродувки. Багатоступінчасті турбоповітродувки розраховані на тиск до 3 атм. Турбокомпресори розвивають тиск понад 3 атм (до 10 атм).

Напір у повітродувках визначають за формулою (4.1). У турбоповітродувках зміна кінетичної енергії мала у порівнянні зі зміною енергії тиску, тому

$$H = \int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{\gamma} = \frac{p_2 - p_1}{\gamma}. \quad (4.11)$$

Турбоповітродувки під час стиснення газу працюють без охолодження. Турбокомпресори розраховані на охолодження газу після кожного ступеня.

Охолодження газу під час стиснення дає змогу:

- збільшити кінцевий тиск стиснення (внаслідок збільшення щільності газу);
- зменшити витрату енергії за допомогою наближення процесу стиснення до ізотермічного.

Охолодження є ефективним, якщо $E = \frac{p}{p_0} > 4,5$.

Охолодження можливо здійснити:

- за допомогою водяної сорочки (машини малої продуктивності);
- з проміжним охолодженням, яке може бути:
- зовнішнім (холодильники розміщені поза корпусом);
- внутрішнім (трубчасті холодильники усередині корпусу).

Характеристиками турбоповітродувок називають графічний зв'язок між кінцевим тиском p та об'ємною продуктивністю $p = f(V)$, потужністю N і продуктивністю $N = f(V)$; ККД $\eta_{\text{нпв}}$ і продуктивністю $\eta_{\text{нпв}} = f(V)$ при $n = \text{const.}$ (рис. 4.8). Характеристики турбоповітродувок отримують шляхом випробувань на заводському стенді або безпосередньо на установці.

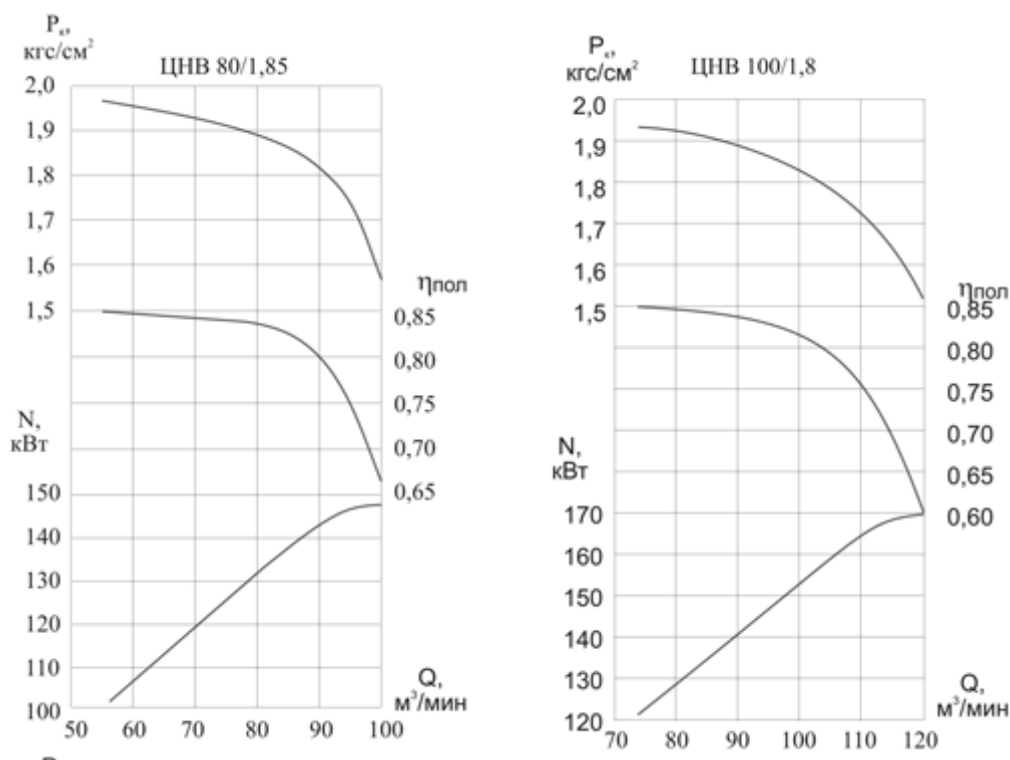


Рисунок 4.8 – Основні характеристики відцентрових повітродувок ЦНВ 80/1,85 та ЦНВ 100/1,8

Визначається напірна характеристика під час повністю відкритої дросельної заслінки на усмоктувальному патрубку, а також за різних її

положень.

Регулювання продуктивності повітродувки виконують за допомогою засувки на нагнітальній трубі.

Заміряють:

- продуктивність V , м³/хв;
- тиск p_o ;
- температуру t у нагнітальному патрубку;
- кількість обертів вала n .

Потужність N , яка споживається турбоповітродувкою, визначається підрахунком.

Робочий режим турбоповітродувки визначається сполученням її характеристики з характеристикою мережі. Характеристика мережі залежить від опору трубопроводів, арматури та апаратів, через які переміщується газ.

Характеристики мережі бувають декількох типів (рис. 4.9):

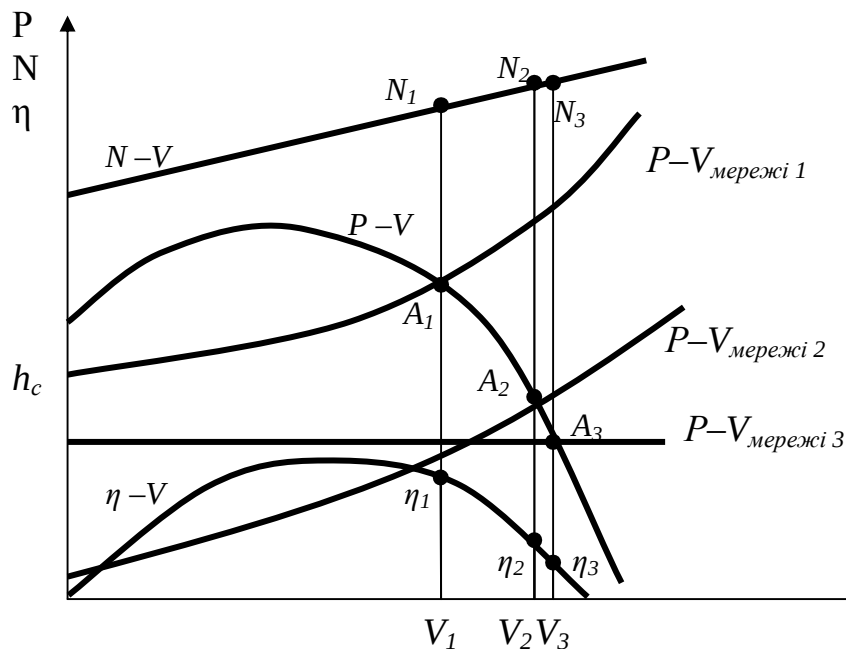


Рисунок 4.9 – Характеристика роботи мережі (повітропроводу)

1. Опір мережі залежить тільки від гідравлічних опорів. Подоланий тиск у мережі визначається за формулою:

$$\Delta p = K \cdot \gamma_c \cdot V^m, \quad (4.12)$$

де m – показник ступеня, який дорівнює 2 (квадратичний закон опору);

K – коефіцієнт, постійний для цієї мережі;

γ_c – середня питома вага газу в мережі, кг/м³;

V – подача, м³/с.

Характеристикою мережі є крива, що проходить через початок координат.

2. Якщо в мережі є протитиск, опір мережі залишається постійним:

$$\Delta p = h = \text{const.} \quad (4.13)$$

Характеристика мережі – горизонтальна лінія, паралельна до осі абсцис.

3. Обидва види опорів додаються, враховується як протитиск, так і подоланий тиск:

$$\Delta p = h + K \cdot \gamma_c \cdot V^m. \quad (4.14)$$

Характеристика мережі може змінюватися залежно від протитиску h , опору трубопроводу та зміни питомої ваги газу в мережі.

Перетин характеристик турбоповітродувки й мережі є робочою точкою установки A (рис. 4.10). Тут тиск, який створюється повітродувкою, дорівнює опору мережі. На рисунку 4.10 подана методика визначення основних параметрів (V, p, N, η) для трьох можливих характеристик повітроводів (мережі) – точки A_1, A_2, A_3 .

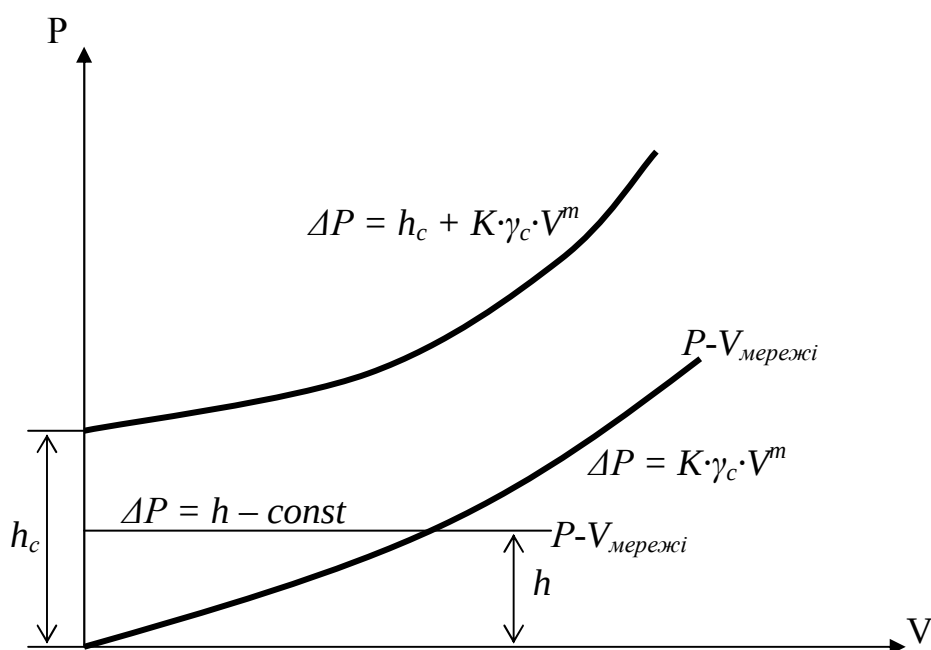


Рисунок 4.10 – Схема визначення основних параметрів (V, p, N, η) для трьох можливих характеристик повітроводів (мережі)

Область нестійкої роботи повітродувки. Зі зростанням протитиску ($p-V$ мережі) подача повітродувки зменшується (рис. 4.11).

У точці K повітродувка розвиває максимальний тиск. Після подальшого збільшення протитиску ($p-V$ мережі) – подача припиняється.

Робота повітродувки нестійка, якщо точка A перебуває на висхідній гілці $p-V$. Якщо протитиск однаковий ($p-V$ мережі), подача різна, причому $V_A' > V_A$ – можливе коливання подачі.

У гілці характеристики, що спадає (справа від т. K), робота повітродувки стійка – подача змінюється відповідно до зміни споживання й далі залишається стабільною.

На ділянці BK під час зниження споживання газу протитиск максимальний – p_k ; під час подальшого зниження споживання газу

повітродувка не може давати тиск більше p_k , і подача падає до нуля. Тиск у мережі продовжує падати (споживання газу не припиняється) і стає менше p_{xx} – тиску холостого ходу. Повітродувка стрибкоподібно дає більшу подачу, що відповідає т. E . Ємність мережі швидко наповнюється, протитиск зростає до т. K , подача знову падає і явище повторюється.

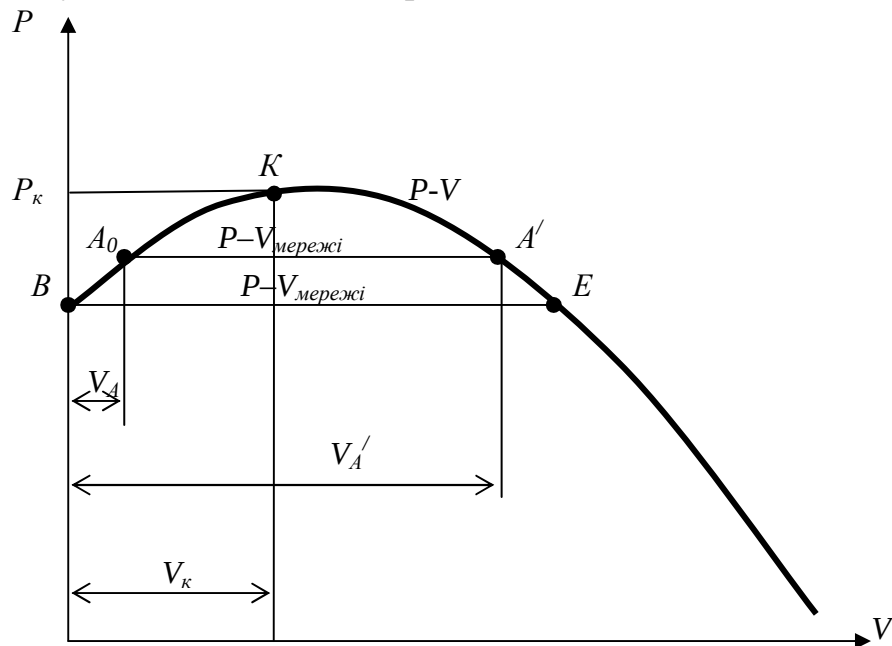


Рисунок 4.11 – Схема нестійкої роботи повітродувки

Зона нестійкої роботи повітродувки спостерігається, коли подача менше критичної $V < V_{кр}$.

Попередження нестійкого режиму роботи повітродувки, за необхідності малих подач газу споживачеві полягає у випуску надлишкової кількості газу байпасною лінією або в атмосферу.

4.3 Регулювання роботи повітродувного обладнання

Найчастіше відповідно до класифікації застосовується повітродувне обладнання відцентрового та поршневого типів. Відцентрові машини мають деякі переваги у порівнянні з поршневими, а саме:

- у відцентрових машин відсутні деталі, які швидко зношуються, – поршні, клапани тощо;
- вони не потребують внутрішнього змащування, тому не забруднюють стиснене повітря або газ;
- завдяки великій частоті вони безпосередньо з'єднуються з електродвигуном або паровими турбінами;
- установки з турбокомпресорами компактніші: вони мають меншу вагу, займають меншу виробничу площу;
- через те що повітря або газ проходять через компресор в одному напрямку, відпадає необхідність встановлення ресиверів між окремими ступенями.

Для регулювання роботи повітродувного обладнання найчастіше використовуються такі методи [48, 49].

1. Увімкнення – вимкнення компресорної установки.

Метод, який передбачає вимкнення електродвигуна у разі підвищення тиску до максимального рівня та увімкнення його після досягнення мінімально допустимого рівня тиску.

Переваги методу: під час простою компресора він не споживає електроенергію.

Недоліки методу: постійне вмикання й вимикання електродвигуна загалом негативно відображається на роботі системи та може спричинити перегрівання обмотки електродвигуна.

2. Скидання зайвого повітря в атмосферу.

Сутність методу полягає в наявності спеціального клапана, який відкривають, як тільки тиск у системі досягає максимальних показників.

Переваги методу: спосіб доцільно застосовувати тільки в дуже потужних компресорних установках, у яких рідко досягається максимальний рівень тиску.

Недоліки методу: найбільш неекономічний спосіб регулювання продуктивності; нераціональний метод, тому що зрештою весь енергоресурс, витрачений на стиснення цього повітря, виявляється розтраченим даремно.

3. Підключення додаткового об'єму.

Метод застосовується тільки для компресорів поршневого типу та базується на використанні зазору, який завжди залишають між поршнем і кришкою циліндра для того, щоб компенсувати теплові деформації.

Переваги методу: якщо штучно збільшувати цей так званий «мертвий об'єм», продуктивність компресора буде зменшуватися.

Недоліки методу: стиснення повітря, яке знаходиться в «мертвому об'ємі», також потребує енергозатрат.

4. Робота «на холостому ходу».

Застосовується в машинах роторного типу (гвинтових, спіральних або пластинчато-роторних); після досягнення максимальних показників тиску в системі спрацьовує реле, яке закриває засувку всмоктуючого клапана.

Переваги методу: робота компресора не припиняється, він продовжує споживати біля 20 % звичайної кількості енергоресурсів, але тиск у системі не нагнітається.

5. Дроселювання здійснюється за допомогою пропорційного всмоктуючого клапана, який не дає тискові в системі підвищуватися понад міру, перекриваючи шлях повітря, що всмоктується, через газодинамічні опори.

Переваги методу: система регулює продуктивність практично самостійно – засувка всмоктуючого клапана відкривається під тиском повітря в системі; він більш ефективний, ніж метод «холостого ходу».

Недоліки методу: коштує дорожче, ніж метод «холостого ходу»; спосіб пов'язаний з безперервною зміною положення диска затвора відповідно до зміни притоку стоків та їхнього складу, і, відповідно, до підвищення зношення рухомих деталей затворів та пришвидшення виходу їх з ладу.

6. Використання частотного перетворювача для регулювання частоти обертання електричного двигуна.

Переваги методу: втрати енергії під час використання цього методу мінімізуються, а межі регулювання продуктивності розширюються та складають 20–100 %; метод застосовують для всіх компресорних установок об'ємного типу.

Недоліки методу: цей спосіб є найбільш дорогим; його використання в установках динамічного типу (осьових, відцентрових тощо) спричиняє проблеми: може виникнути резонанс з власними частотами коливань турбокомпресора установки.

7. Дискретний метод регулювання частоти обертання електричного двигуна.

Переваги методу: головна відмінність щодо попереднього методу полягає в тому, що замість плавної зміни швидкості обертання вала використовується дискретна зміна, що базується на застосуванні спеціальних багатошвидкісних двигунів; це коштує значно дешевше, ніж використання частотного перетворювача, а ефективність майже рівнозначна.

8. Зміна кількості працюючих агрегатів (на станціях з кількістю робочих агрегатів 6–10).

Недоліки методу: регулювання неекономне, втрачається 15–20 % енергії, яка витрачається на подачу повітря; значна кількість увімкнень – вимкнень повітродувок відповідно до технологічних потреб спричиняє передчасне зношення повітродувок.

9. Комбінований метод передбачає використання почергово дискретної зміни положення дисків затворів, встановлених на всмоктуючих лініях повітродувок. Засувка прикривається на деякий постійний кут 35–40°. Дроселювання доповнюється зміною кількості працюючих агрегатів, що здійснюється за допомогою пристрою плавного пуску (ППП).

Переваги методу: застосування ППП не потребує значних капітальних затрат, оскільки для почергового плавного пуску 8–10 агрегатів повітродувної установки достатньо мати один ППП.

Дослідження [48], проведені на Люберецькій станції аерації м. Москва, яка оснащена 10 повітродувками 750-23-4, свідчать про таке:

- затвор на всмоктуючій лінії може бути прикритий на кут 45° без загрози виникнення помпажу;
- прикриття затвору на кут 45° зменшує подачу на 4000 м³/год та знижує потужність, що споживається, на 140 кВт;
- почерговим прикриттям затвору на 40° можна практично плавно зменшувати подачу повітря в аеротенки на 20–23 % та знизити потужність, що споживається, на 15–16 %.

10. Каскадне регулювання роботи повітродувок.

Каскадне регулювання – це метод почергового ввімкнення повітродувок, якщо загальна кількість робочих агрегатів складає понад 3 шт. (рис. 4.12).

Згідно з каскадним регулюванням роботи повітродувного обладнання (рис. 4.12), пуск першого компресора відбувається за мінімальної подачі – 45 %,

за необхідності подачі більшого об'єму повітря компресор підвищує подачу до 100 %.

Потім відбувається запуск другого компресора – за мінімальної подачі 45 %, перший компресор, під час запуску другого, також знижує подачу до 45 %. Усього загальна подача становитиме 90 %. Другий компресор продовжує працювати за мінімальної подачі, а подача першого зростає до 100 % (загальна подача – 145 %).

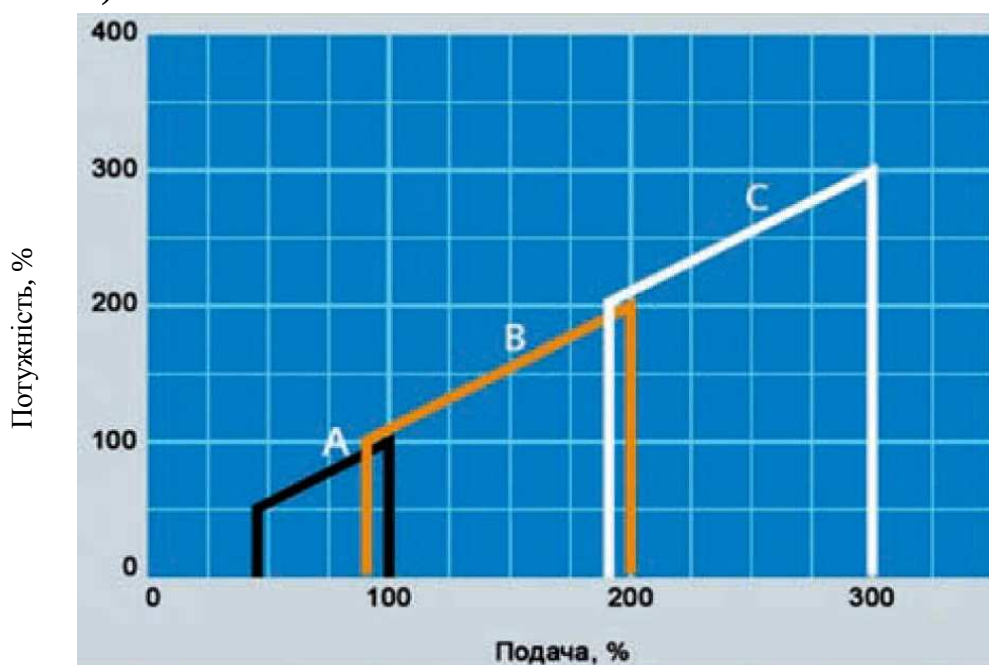


Рисунок 4.12 – Каскадне регулювання роботи повітрорудовок

Якщо необхідний більший об'єм повітря, обидва компресори працюють за 100 %-ої подачі, а третій починає свою роботу від 45 %, робота другого також автоматично знижується до 45 % (загальна подача – 190 %). Далі подача другого зростає до 100 %. Загальна подача дорівнює 245 %. Потім і подача третього компресора зростає до 100 % (загальна подача трьох компресорів – 300 %).

Сучасні повітрорудовки поставляються разом з шафою управління, яка дає змогу підключати обладнання до автоматизованих систем управління (АСУ). Використання керуючих засобів автоматики підвищує ефективність систем до 10 %. Крім того, автоматизація знижує трудові ресурси та оптимізує процес.

На підставі зазначеного вище можна зробити такий висновок: на сьогодні економічно доцільно замінити турбоповітрорудовки серії ТВ на сучасні повітрорудовки, які більш економічні внаслідок можливості в автоматичному режимі регулювати кількість повітря, що подається в аеротенки.

Контрольні запитання до розділу 4

1. Подайте визначення поняття «повітрорудовна станція». Назвіть функції, які виконують основні елементи повітрорудовних станцій.
2. Наведіть класифікацію повітрорудовних машин, проаналізуйте її.

3. Наведіть основні положення класифікацій повітродувних станцій.
4. Які процеси стиснення газу відбуваються в компресорі?
5. Наведіть схему компресорної установки, подайте пояснення до її основних елементів.
6. Які способи регулювання подачі компресорів ви знаєте? Поясніть кожен з них.
7. Яке основне та допоміжне устаткування має бути на повітродувній станції і для чого?
8. Наведіть схеми ротаційного та водокільцевого компресорів. Поясніть їх.
9. У чому полягають переваги відцентрових повітродувок у порівнянні з іншими видами компресорів?
10. Які методи регулювання роботи повітродувного обладнання використовуються найчастіше?

Тестові завдання

1. Які повітродувні машини за створюваним ними напором розрізняють?
 А. Вентилятори. Б. Повітродувки. В. Відцентрові машини.
 Г. Турбокомпресори. Д. Осьові машини. Е. Поршневі машини.
2. Які функції на очисних спорудах систем водопостачання та водовідведення виконують компресорні станції?
 А. Перекачування розчинів реагентів. Б. Перемішування реагентів.
 В. Промивання фільтрів разом з водою. Г. Подача кисню до аеротенків.
3. Як називається повітродувна машина, якщо вона створює тиск 2 кгс/см^2 ?
 А. Турбокомпресор. Б. Вентилятор. В. Повітродувка.
4. До якого типу повітродувок за принципом дії належить водокільцевий компресор?
 А. Лопатеві. Б. Об'ємні. В. Поршневі.
5. На які типи класифікуються повітродувні станції за видом охолодження компресорів?
 А. З одноступеневими компресорами.
 Б. З нагнітачами без штучного охолодження.
 В. З багатоступеневими повітродувками.
 Г. З компресорами зі штучним охолодженням.
6. Якою діаграмою описується робота поршневого компресора?
 А. Індукційною pV – діаграмою. Б. Індикаторною pV – діаграмою.
 В. Індексною pV – діаграмою. Г. Інверсійною pV – діаграмою.

7. Які з наведених методів належать до способів регулювання подачі компресорів?

А. Зміна частоти обертання приводного вала компресора.

Б. Примусове відкриття нагнітальних клапанів.

В. Перепуск газу з нагнітальної труби в усмоктувальну.

Г. Дроселювання на напірних трубах.

Д. Підключення додаткового «шкідливого» простору.

8. Яке обладнання повітродувних станцій належить до допоміжного та механічного устаткування?

А. Компресори. Б. Двигуни. В. Фільтри. Г) КВП і А.

Д. Повітрозбірники. Е. Система охолодження. Ж. Система повітроводів.

9. Якою має бути кількість ступенів z у великому компресорі, якщо він створює стиснення газу 6 МПа?

А. 1.

Б. 2.

В. 3.

Г. 4 і більше.

10. Які переваги мають відцентрові машини у порівнянні з поршневими повітродувками?

А. У відцентрових машин відсутні деталі, які швидко зношуються.

Б. Вони потребують внутрішнього змащування.

В. Вони безпосередньо з'єднуються з електродвигуном.

Г. Такі установки мають більшу вагу.

Д. Займають меншу виробничу площу.

11. Який з методів регулювання повітродувного обладнання передбачає використання пристрою плавного пуску?

А. Каскадне регулювання.

Б. Зміна кількості працюючих агрегатів.

В. Комбінований метод.

Г. Дроселювання.

Відповіді до тестових завдань

№ питання	Варіанти правильних відповідей
1	А; Б; Г.
2	Б; В; Г.
3	В.
4	Б.
5	Б; Г.
6	Б.
7	А; В; Д.
8	В; Г; Д; Е.
9	В.
10	А; В; Д.
11	В.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лобачёв, П. В. Насосы и насосные станции [Текст] / П. В. Лобачёв. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Стройиздат, 1983. – 191 с.
2. Комков, В. А. Насосные и воздухоудные станции [Текст] / В. А. Комков, Н. С. Тимахова. – М. : Инфра-М, 2010. – 256 с.
3. Минаев, А. В. Насосы и насосные станции [Текст] : [учеб. для вузов по спец. «Водоснабжение и канализация»] / А. В. Минаев. – М. : Стройиздат, 1986. – 320 с.
4. Гідравлічні і аеродинамічні машини [Текст] / [М. І. Колотило, О. М. Романюк, Г. П. Вербицький, та інш.] – Кіровоград, 1997. – 176 с.
5. Якубчик, П. П. Насосы и насосные станции [Текст] / П. П. Якубчик. – СПб. : СПб. ПГУПС, 1997. – 107 с.
6. Шевелев, Ф. А. Таблицы для гидравлического расчёта водопроводных труб [Текст] / Ф. А. Шевелев, А. Ф. Шевелев – М. : Стройиздат, 1984. – 116 с.
7. Насосное оборудование. Водоснабжение. Водоотведение : [каталог 2008–2009 гг.], 4-ая ред. – Омск : Насосный завод «ВЗЛЕТ», 2009. – 232 с.
8. Grundfos System Guide Commercial Services : [каталог насосного оборудования 2004 г.], 2004. – 229 с.
9. Calpeda Creative Tecnology : [каталог насосного оборудования 01/2006], 2006. – 221 с.
10. Николаев, Д. В. Фекальные насосы Иртыш – Погружные и наружные фекальные и дренажные канализационные насосы Иртыш : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.1nasos.ru/pages/irtysh.html>.
11. Частотно – регулируемый привод : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : http://www.paper.consys.ru/projects/articles/adj_drives_articles//.
12. Седлухо, Ю. П. Анализ режимов работы однопоточных насосов, оборудованных регулируемым приводом [Текст] / Ю. П. Седлухо, В. Л. Еловик // Вода и экология: проблемы и решения. – СПб.– 2006. – № 2 (27). – С. 68 – 75.
13. Лезнов, Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных установках [Текст] / Б. С. Лезнов. – М. : Энергоатомиздат, 1998. – 265 с.
14. Березин, С. Е. Насосные станции с погружными насосами. Расчет и конструирование [Текст] / С. Е. Березин. – М. : ОАО «Изд-во «Стройиздат», 2008. – 160 с.
15. ООО «Интертехнология». Регулируемые гидромолфы компании Transfluid : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : www.i-technolog.ru.
16. Карасёв, Б. В. Насосные и воздухоудные станции [Текст] / Б. В. Карасёв. – М. : Вища школа, 1990. – 368 с.
17. ДБН В.2.5 – 74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування [Текст] : «УкрНДІводоканалпроект», розробники: О. Оглобля, Г. Пархомович, О. Буланый та інш. – К. : Мінрегіон України, 2013. – 280 с.

18. Залуцкий, Э. В. Насосные станции. Курсовое проектирование: [учеб. пособ. для вузов] [Текст] / Э. В. Залуцкий, А. И. Петрухно – К. : Вища школа, 1987. – 167 с.
19. Монтаж систем внешнего водоснабжения и канализации / Под ред. А. К. Переживкина. – [4-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Стройиздат, 1988. – 563 с.
20. Насосные и воздухоудные станции : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://magak.ru/vodosnabgenie/vodootvod-system/17-nasosnie-i-vozduhoduvnie-stancii>.
21. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений. – [Электрон. ресурс]. т. 3. – Режим доступа : <http://bskltd.ru/book/base/B1881/B1881Part27-112.php>.
22. Комплектные водопроводные насосные станции 1-го и 2-го подъема производительностью до 1000 м³/ч и напором до 145 м : [Электрон. ресурс] – Режим доступа : http://ukeentlet.ucoz.ru/news/vodoprovodnye_nasosnye_stancii/2012-12-03-80.
23. Забор подземных вод : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : http://wolfgangkunze.narod.ru/01_3.html.
24. Оборудование насосами : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : http://wounce.clan.su/news/oborudovanie_nasosami/2013-04-06-125.
25. Конструктивные особенности водоподъемников. Часть 1. Животноводство : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://globalunichip.ru/oborudovanie-ferm/117-konstruktivnye-osobennosti-vodopodemnikov-chast-1.html>.
26. Абрамов, Н. Н. Водоснабжение: [учеб. для ВУЗов]. [Текст] / Н. Н. Абрамов – [3-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Стройиздат, 1982. – 440 с.
27. Тугай, А. М. Водопостачання: підручник / А. М. Тугай, В. О. Орлов. – К. : Знання, 2009. – 735 с.
28. Водоснабжение / [А. Я. Найманов, С. Б. Никишина, Н. Г. Насонкина и др.]. – Макеевка : ООО «Норд компьютер», 2006. – 654 с.
29. Промышленное оборудование. Примеры работ : Повысительные насосные станции : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : http://element.spb.ru/Objects/007_001.html.
30. Типовые проекты насосных станций : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.hosttron.ru/?do=nasosnaya-stantsiya-tipovoy-proekt>.
31. Кумиров, Б. А. Технологические энергоносители промпредприятий: учеб. пособие. / Б. А. Кумиров. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2005. : [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ms.znate.ru/docs/609/index-3493-2.html>.
32. Передвижная насосная станция СНП-120/30 : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://hoztehnikka.ru/oposhenie/33-nasosnue-stancii/166-peredvijnay-nasosnay-stancia-cnp-12030.html>.
33. Плавуца насосная станція : [Електрон. ресурс]. – Режим доступа : http://www.metenergo.ru/nasosnaya_stanciya/mnogonasosnye_ustanovki/plavuchaya_nasosnaya_stanciya/.

34. Березин, С. Е. Погружные насосы для природных и сточных вод / С. Е. Березин // Водоснабжение и санитарная техника. – М., 2009. – № 11. – С. 69 – 75.
35. Задвижки : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://zaporizhia.boxmarket.com.ua/zadvizhki-shibernye/45459-zadvizhki.html>.
36. Задвижка параллельная двухдисковая с выдвижным шпинделем фланцевая : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : http://rostov.pulscen.ru/products/zadvizhka_chugunnaya_d300_7952785.
37. Клапаны обратные осесимметричные безударные : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : http://energoarm.narod.ru/NEW/klap_obr.htm.
38. Клапан обратный приемный 16ч42р : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.e-s74.ru/productsiya?category=297>.
39. Насосные и воздухоудные станции. Лекции : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://lib.rushkolnik.ru/text/33176/index-1.html?page=2>.
40. ДБН В.2.5 – 75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування [Текст] : «УкрНДІводоканалпроект», розробники: О. Оглобля, Г. Пархомович, О. Буланій та інш. – К. : Мінрегіон України, 2013. – 128 с.
41. Курсовой проект на тему «Канализационная насосная станция» / ВиВ Сайт заочников КГАСУ : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://zif-kgasu.ru/tags/%C2%E8%C2/>.
42. Монтаж систем водоснабжения : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.akran.ru/bt/part-2-199/59/>.
43. Канализационные насосы. Насосы Tsurumi Япония : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.tex-servis.ru/kanalizacionnye-nasosy/>.
44. ООО «НПП «Технопласт» Канализационные насосные станции : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://npptechnoplast.ru/kns/>.
45. Компания «Росэкопласт». Общие сведения о канализационных насосных станциях КНС : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://ecoplast-russia.ru/index.php?cat=35>.
46. Черкасский, В. М. Насосы, вентиляторы, компрессоры : [учеб. для теплоэнергетических специальностей вузов] [Текст] / В. М. Черкасский – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 416 с.
47. Компрессорные машины : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://kurs.znate.ru/docs/index-106886.html>.
48. Березин, С. Е. Выбор способа регулирования воздухоудов для аэрации сточных вод / С. Е. Березин // Водоснабжение и санитарная техника. – М. : «Изд-во ВСТ», 2012. – № 11. – С. 59 – 64.
49. Лезнов, Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздухоудных установках / Б. С. Лезнов. – М. : Энергоатомиздат, 2006. – 360 с.

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

- Автоматизація 29
Адіабатичний процес 165
Арматура
 запірна 67, 119
 трубопроводів 119
- Вентилятор 163
Висота
 усмоктування 17
 геометрична 11, 88
Водолічильник 124
Водоструминна установка 81
Втрати напору 22, 44, 88, 114
- Графік
 водоспоживання 83
 інтегральний водоспожи-
 вання 87
 роботи НС 2-го підйому 83
 сумісної роботи насосу і
 трубопроводу 25
- Діафрагма 124
Дискретний метод регулювання 185
Допоміжне устаткування 9, 119, 171
Дренажна установка 129
Дробарка молоткового типу 145
Дроселювання 38, 171, 176, 184
- Електродвигун 30
Електропривод
 частотний 30, 185
- Заливання насоса 127
Запобіжний клапан 124
Засувка 119
Зворотний клапан 121
 приймний 123
Зміна кількості обертів 26, 38, 171
Зона оптимуму 24
Зрізання діаметра робочого
 колеса 34, 38
- Ізотермічне стиснення 165
Індикаторна діаграма 173
- Кавітація 15
Кавітаційний запас 19
Каналізаційна насосна станція
 головна 9, 133
 мережна 133
 мулова 159
 з горизонтальним корпусом 159
 зі скловолокна 155
 районна 9, 133
 традиційна 155
Категорія надійності 7
Кількість обертів 27
Коефіцієнт
 годинної нерівномірності 84
 корисної дії 9, 13
 швидкохідності 35
Компонування насосної станції 109
Компресор 163
 водокільцевий 178
 ротаційний 177
Компресорна установка 166
Комунікації насосної станції 71, 95
- Машинний зал 52, 98
Механічне обладнання 9, 118, 171
Механізовані ґрати 144
Мертвий (шкідливий) простір 171
Мокра установка насоса 150
- Наземна частина насосної
 станції 72, 96
Напор 61, 44, 88
Насос
 відцентровий 7
 занурений 146
 з горизонтальним валом 48
 з вертикальним валом 49
 осьовий 7, 50, 149
 протипожежний 63, 92
 свердловинний 78, 81

Насосний агрегат 9
Насосна станція 5, 7
 блокова 73, 104
 блочно-модульна 100
 камерна 73
 над свердловиною 78
 першого підйому 8, 58
 другого підйому 8, 58, 82
 пересувна 106
 підвищення тиску 8, 50, 58, 99
 роздільна 8, 71, 133
 сполучена 8, 71, 133
 циркуляційна 8, 58, 103

Опір
 мережі 181
 трубопроводу 25
 питомий 25, 78
Оптимізація роботи насоса 26

Парабола подібних режимів 27, 36
Паралельне з'єднання агрегатів 41
Підземна частина насосної станції 72
Повітродувка 163
 лопатева 163, 179
 об'ємна 163
 поршнева 163, 172
 роторна 163, 177
Повітродувна станція 163, 171
Політропічний процес 166
Послідовне з'єднання агрегатів 40
Потужність 9, 12, 31
Приймальний резервуар 141
Продуктивність 9, 60, 171
Протипожежна мережа 92

Регулювання
 каскадне 186
 роботи насоса 30, 37
 роботи повітродувки 176, 183

Регулююча місткість
 башти 84
 приймального резервуара 136
Режим роботи насосної станції 59, 77, 82
Резервне устаткування 8, 62, 92, 139
Решітка-дробарка 145
Робота насоса під заливом 14
Робоча точка 25

Сопло
 Вентурі 125
 нормальне 125
Стенові випробування 20
Стиснення газу 167, 175
Сумісна робота насосів 40
Суша установка насоса 153
Схема
 НС першого підйому 59
 каналізаційної насосної станції 134
 розташування агрегатів 48, 51, 60, 65, 93

Тиск
 абсолютний 11
 атмосферний 11
 манометричний 11
 паротворення 16
Трубопровід
 всмоктуючий 68, 95, 113, 144, 140
 напірний 68, 95, 116, 140
Турбокомпресор 169

Характеристика
 лабільна 21
 насоса 18, 20
 стабільна 21
 трубопроводу 22
 турбоповітродувки 180

Навчальне видання

ШЕВЧЕНКО Тамара Олександрівна

ЯРОШЕНКО Юрій Вадимович

ЯКОВЕНКО Микола Михайлович

БЄЛЯЄВА Валентина Михайлівна

НАСОСНІ ТА ПОВІТРОДУВНІ СТАНЦІЇ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Відповідальний за випуск *С. С. Душкін*

Редактор *О. А. Норик*

Комп'ютерне верстання *Є. Г. Панова*

Дизайн обкладинки *Т. Є. Ключко*

Підп. до друку 11.02.2014 р.

Друк на ризографі

Зам. №

Формат 60×84/16

Ум. друк. арк. 8,5

Тираж 500 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4705 від 28.03.2014 р.