

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

М. М. Яковенко, В. М. Бєляєва

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

Насосні та повітродувні станції

(для студентів 4 - 5 курсів денної і заочної форм навчання освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр, напряму підготовки 6.060103- «Гідротехніка (Водні ресурси)» та слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.092601, 7.06010108 "Водопостачання та водовідведення")

Харків
ХНАМГ
2012

Яковенко М. М. , Беляєва В. М. Конспект лекцій з дисципліни «Насосні та повітродувні станції» (для студентів 4 - 5 курсів денної і заочної форм навчання освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр, напряму підготовки 6.060103- «Гідротехніка (Водні ресурси)» та слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.092601, 7.06010108 "Водопостачання та водовідведення") / М. М. Яковенко, В. М. Беляєва; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2012 – 163 с.

Автори: М. М. Яковенко
В. М. Беляєва

Рецензент: к. т. н. А. М. Колотило

Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення та очистки вод, протокол №1 від 2.09.2009 р.

Зміст

Вступ.....	4
Модуль 1. Насосні та повітродувні станції.....	5
ЗМ 1.1. Насосні станції водопостачання і водовідведення.....	5
ЗМ 1.2. Класифікація насосних станцій водопостачання.....	71
Модуль 2 Насосні і повітродувні станції.....	102
ЗМ 2.1. Конструкція ЦБН одноколісних і двоколісних.....	102
ЗМ 2.2. Особливості і проектування каналізаційних насосних станцій.....	122
Завдання для самоперевірки.....	160
Список джерел.....	162

Вступ

Насосні та повітродувні станції - один з основних технічних елементів у системах водопостачання й каналізації, що забезпечує підйом і переміщення рідини, у потрібній кількості та при необхідних напорах.

Являють собою складний комплекс основного, допоміжного й механічного устаткування. Схеми насосних станцій варіюються в широкому діапазоні залежно від цільового призначення і технологічних вимог, місцевих умов та інших особливостей конкретних систем.

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

Даний конспект лекцій функціонально складається з двох модулів, які містять у собі по два змістових модулі.

Модуль 1 Насосні та повітродувні станції

ЗМ 1.1. Насосні станції водопостачання і водовідведення

ЗМ 1.2. Класифікація насосних станцій водопостачання

Модуль 2 Насосні та повітродувні станції

ЗМ 2.1. Конструкція ЦБН одноколісних і двоколісних

ЗМ 2.2. Особливості проектування каналізаційних насосних станцій

Конспект лекцій написаний відповідно до програми курсу «Насосні та повітродувні станції», затвердженої і рекомендованої для студентів, напряму підготовки 6060103- «Гідротехніка (Водні ресурси)».

Ефективне оволодіння навчальним матеріалом, викладеним у конспекті лекцій, передбачає попереднє вивчення таких дисциплін, як: «Технічна механіка рідини і газу» і «Гідравлічні і аеродинамічні машини».

Модуль 1 Насосні та повітродувні станції

ЗМ 1.1. Насосні станції водопостачання і водовідведення

Основні питання

1. Насосні станції систем водопостачання і каналізації. Основне устаткування насосних станцій. Галузі застосування насосів, класифікація
2. Схема і принцип дії відцентрових насосів. Основні параметри ЦБН. Класифікація
3. Схема установки ЦБН. Арматура ЦБН
4. Визначення необхідного напору. Характеристика опору.
5. Кавітація в потоці. Визначення необхідного напору насоса, що працює.

Рівняння Ейлера

6. Втрата енергії в ЦБН. ККД насоса. Робочі характеристики ЦБН
7. Закон пропорційності. Перерахування характеристик на інші обороти.

Запуск ЦБН. Устаткування для запуску.

Насосна станція є ланкою системи водопостачання і являє 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 багато допоміжних систем: система усмоктувальних і напірних трубопроводів з необхідними арматурами; системи запуску насосів, змащення, електропостачання, автоматики, керування, контролю й ін. На сучасних насосних станціях використовуються системи автоматики, телемеханіки і електроніки.

Водопровідні насосні станції поділяються на групи за низкою ознак.

За розташуванням в загальній схемі системи водопостачання й призначенням вони поділяються на станції першого підйому, другого підйому, підвищувальні та циркуляційні.

Станції першого підйому подають воду із джерела на очисні споруди, а якщо очищення води не потрібне, - у регулюючі ємності або безпосередньо в мережу споживача. 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. Підвищувальні станції призначені для підвищення напору в мережі (окремі багатоповерхові будинки, райони із високою поверховою забудовою, зонні водопроводи, водопроводи промислових підприємств). 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 (БНіП 2.02.04-84):

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

2) зниження подачі води те ж, що й 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 те ж, що й для станцій I категорії, але тривалість не повинна перевищувати 15 діб, а перерва в роботі - 24 год.

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

За характером керування станції бувають із ручним керуванням; напівавтоматичні, коли автоматизована система включається оператором з пульта керування; автоматичні, на яких система автоматики станції включається й вимикається від первинних сигналів, одержуваних від датчиків (тиску, рівня й т.д.); з керуванням на відстані, коли включення, вимикання агрегатів, контроль за їхньою роботою проводиться із центрального диспетчерського пункту, розташованого на значній відстані від насосної станції.

Насосні станції першого підйому з поверхневих джерел

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

На рис. 1, *а* показана схема насосної станції першого підйому берего-вого типу, сполученої з водозабірним спорудженням. Станція кругла в плані, глибока, обладнана чотирма вертикальними відцентровими насосами.

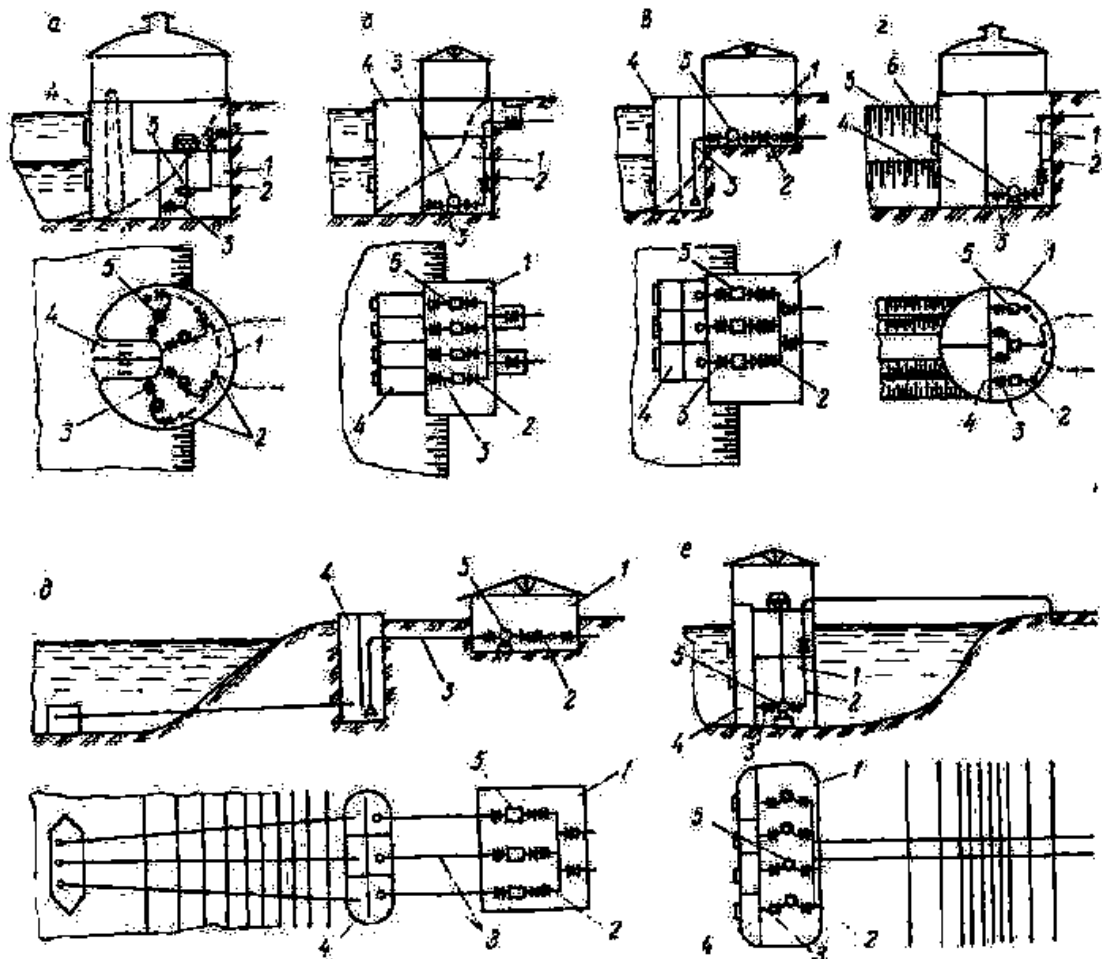
На рис. 1, *б* наведена схема берегової станції, обладнаної горизонтальними насосами, сполученою з водозабірною спорудою. У плані станція має прямокутну форму.

Схема станції, показаної на рис. 1, *в*, відрізняється від попередніх тим, що її споруда частково заглиблена і насоси при нижньому рівні води в джерелі працюють з позитивною висотою усмоктування.

Насосні станції за схемами на рис. 1, *а-в* споруджують у тому випадку, якщо при сприятливих геологічних і топографічних умовах неподалік від берега забезпечується достатня глибина, необхідна для водозабору. При несприятливих умовах станція споруджується на деякій відстані від берега, і воду до неї підводять по каналу (рис. 1, *з*).

На рис. 1, *д* показана схема насосної станції берегового типу окрема від водозабірної споруди.

При значному коливанні рівнів води в річці іноді виконуються насосні станції першого підйому, сполучені з русловими водозаборами типу «Краб» (рис. 1, *е*). Така споруда має вищу вартість у порівнянні з насосними станціями інших типів і зустрічається рідко. Остаточне рішення вибору схеми насосної станції першого підйому приймають на підставі техніко-економічних розрахунків при порівнянні різних варіантів.



*Рис. 1 - Схеми насосних станцій першого підйому:
 1 - споруда насосної станції; 2 - нагнітальний трубопровід;
 3 - усмоктувальний трубопровід; 4 - водоприймач; 5 - насос;
 б - канал, що підводить*

Режим роботи і подача насосних станцій першого підйому. Вода в поверхневих джерелах завжди вимагає відповідного очищення. Тому режим роботи насосної станції системи господарсько-питного водопостачання пов'язаний з режимом роботи очисних споруд. З метою скорочення розмірів споруд і стабілізації процесу очищення 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 і т.д.). При відносно невеликому обсязі водоспоживання й при наявності відповідних очисних установок, що допускають перерви в роботі, режим роботи станції першого підйому може відрізнитися від рівномірного. Від

режиму роботи насосної станції першого підйому залежить обсяг резервуарів чистої води.

Подачу насосної станції першого підйому визначають за формулою:

$$Q = \frac{\alpha Q_{\max \text{ доб}}}{T},$$

де α — коефіцієнт власних потреб: $\alpha = 1,04 \dots 1,1$;

$Q_{\max \text{ доб}}$ — максимальний добовий обсяг водоспоживання, м³;

T — тривалість роботи насосної станції за добу, год. (при рівномірному режимі $T = 24$ год.).

Для остаточного рішення питання про вибір режиму роботи, а отже, і подачі насосної станції першого підйому необхідно техніко-економічне обґрунтування прийнятого варіанта з урахуванням технологічного процесу очищення 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. При рівномірному графіку водоспоживання подача насосної станції розраховується за середнім водоспоживанням за годину. Якщо ж водоспоживання протягом доби нерівномірне, подачу насосної станції потрібно визначати за максимальним годинним водоспоживанням (при відсутності регулюючої ємності) або за середнім водоспоживанням за годину (при наявності регулюючої ємності).

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

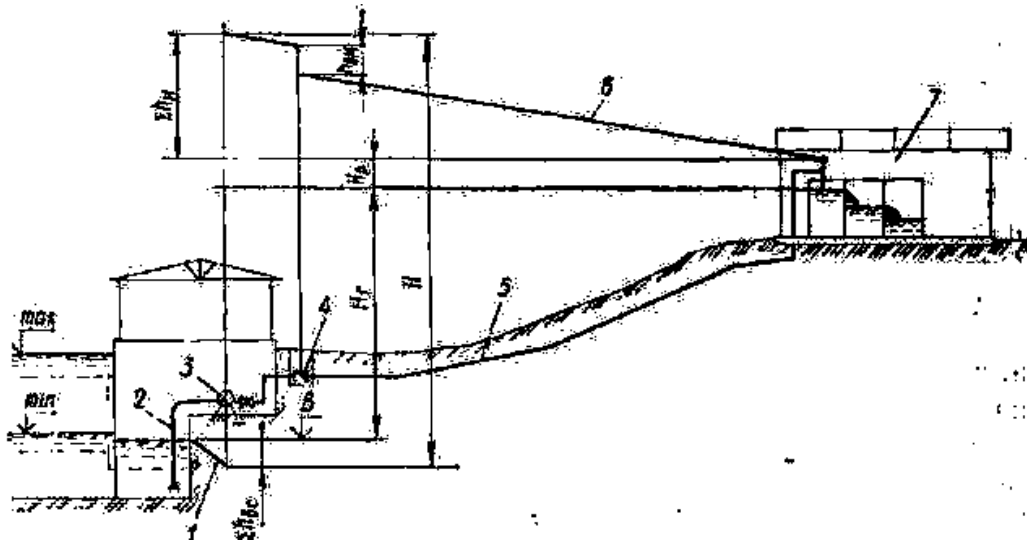


Рис. 2 - Визначення напору насосної станції першого підйому:
 1 - п'єзометрична лінія на ділянці усмоктування; 2 - усмоктувальна труба;
 3 - насос; 4 - водомір; 5 - нагнітальний водовод; 6 - п'єзометрична лінія на
 ділянці нагнітання; 7 - очисні споруди

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 до очисних споруд (рис. 2),

$$H = H_G + \Sigma h_{yc} + \Sigma h_n + H_p,$$

де H_G — геометрична висота підйому, що дорівнює різниці позначок максимального рівня води в змішувачі й мінімальному розрахунковому рівню у водозабірній споруді, м;

Σh_{yc} — втрати напору в усмоктувальній лінії, м;

Σh_n — втрати напору в напірній лінії, включаючи втрати у водомірі (h_{em}), м;

H_p — робочий напір вилива; $H_p = 1 \dots 1,5$ м.

Основне й резервне устаткування насосних станцій першого підйому. Основні робочі насоси обирають за розрахунковим значенням Q і H з урахуванням спільної роботи насосів і водоводу. Розрахункова подача насосів залежить від їхньої кількості. При підборі насосів необхідно враховувати наступне:

1) збільшення числа насосів призводить до зростання будівельного обсягу споруди насосної станції, до ускладнення умов її експлуатації;

2) при спільній роботі в загальний водовід подача насоса зменшується в порівнянні з подачею при індивідуальній його роботі, і чим більше насосів працюють разом, тим більше зниження їхньої подачі; 3) чим менше насос, тим нижче його ККД.

З урахуванням зазначених обставин робочих насосів на станціях першого підйому має бути якнайменше (але не менше двох) при більшій їхній потужності. У насосних станціях II та III категорії при відповідному обґрунтуванні припустима установка одного робочого насоса.

Тип насоса вибирають залежно від загальної потужності насосної станції. На великих станціях доцільніше використати 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 більшим заглибленням доцільно застосовувати свердловинні насоси. Робочі насоси на станції повинні бути однотипними.

При проектуванні насосних станцій першого підйому, враховуючи, що їхнє розширення (у зв'язку з перспективою розвитку мережі водопостачання) пов'язане з більшими технічними труднощами, передбачають місце для установки додаткових агрегатів або збільшують розміри фундаментів, щоб можна було встановити насос більшої потужності. Резерв насосного устаткування вибирають відповідно до БНіП 2.02.04-84 (табл. 1). На станціях першого підйому, які подають воду в системи оборотного водопостачання, допускається встановлення одного резервного агрегату. Резервні агрегати вибирають такого ж типу, як і основні.

Таблиця. 1 - Резерв насосного устаткування

Кількість робочих агрегатів однієї групи	Кількість резервних агрегатів у насосних станціях категорії		
	I	II	III
До 6	1	1	1
Понад 6 до 91	1	1	-
Більше 9	2	2	-

Примітка. У число робочих агрегатів включаються протипожежні насоси.

Протипожежні насоси на станціях першого підйому. На насосні станції першого підйому об'єднаних систем господарсько-питних і протипожежних водопроводів покладається функція поповнення витраченого резервного запасу, що зберігається в резервуарах чистої води насосних станцій другого підйому.

Можливість відновлення протипожежного запасу води за розрахунковий період враховується при визначенні повної подачі насосної станції. Витрачений протипожежний запас може бути відновлений форсуванням роботи основних насосів; включенням господарських насосів, якщо вони працюють не цілодобово; включенням резервних насосів; основними насосами за рахунок скорочення водоспоживання. На період відновлення протипожежного запасу води БНіП 2.02.04-84 допускається зниження господарсько-питного водоспоживання до 70% і виробничого - за графіком. У випадку, якщо перерахованими способами не можна відновити протипожежний запас, необхідно встановлювати спеціальний протипожежний насос. При відновленні протипожежного запасу основними господарськими насосами повна подача насосної станції визначається за формулою:

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

де Q_I - середньочасова подача насосної станції першого підйому, м³/год;

$3Q_n$ - повний обсяг води за 3 год. гасіння пожежі, м³ (3 год. - розрахункова тривалість гасіння пожежі);

ΣQ_{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 (включають в розрахунок, якщо гарантовано безперебійну подачу води насосною станцією першого підйому);

T - максимальна тривалість відновлення протипожежного запасу, год.

БНіП 2.02.04-84 встановлюються наступні максимальні норми часу відновлення протипожежного запасу води:

24 год. - у населених пунктах і на промислових підприємствах з виробництвами, що належить за пожежною небезпекою до категорій А, Б, В; 36 год. - на промислових підприємствах з виробництвами, що належить 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 менш допускається збільшувати час поповнення запасу води для виробництв категорій Г, Д і Є до 48 год. категорій В - 36 год.

Подача протипожежних насосів визначається за формулою:

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

Розміщення насосних агрегатів на станціях першого підйому.

Розміщення насосних агрегатів визначається формою машинної зали в плані, 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. Тому компонування устаткування повинне сприяти зменшенню розмірів споруди станції з урахуванням можливості збільшення її потужності на майбутнє. Розміщення насосного устаткування і трубопроводів

також має забезпечувати зручність, безпеку, оперативність їхнього обслуговування й ремонту.

Розміщення насосів у вертикальній площині на станціях першого підйому насамперед залежить від типу насосів. Вертикальні відцентрові й осьові насоси монтують так, щоб їхні корпуси перебували нижче мінімального рівня води в джерелі. Горизонтальні відцентрові насоси типу Д і К також переважно встановлювати на таких позначках, щоб корпуси насосів заливалися водою самопливом при мінімальних розрахункових рівнях води в джерелі. Їх можна монтувати вище мінімального рівня води в джерелі на позначках, що не перевищують припустиму висоту усмоктування, що розраховується. У цьому випадку необхідно передбачати пристрій для заливання насосів перед запуском.

На рис. 3 показані найбільш характерні схеми розташування насосних агрегатів.

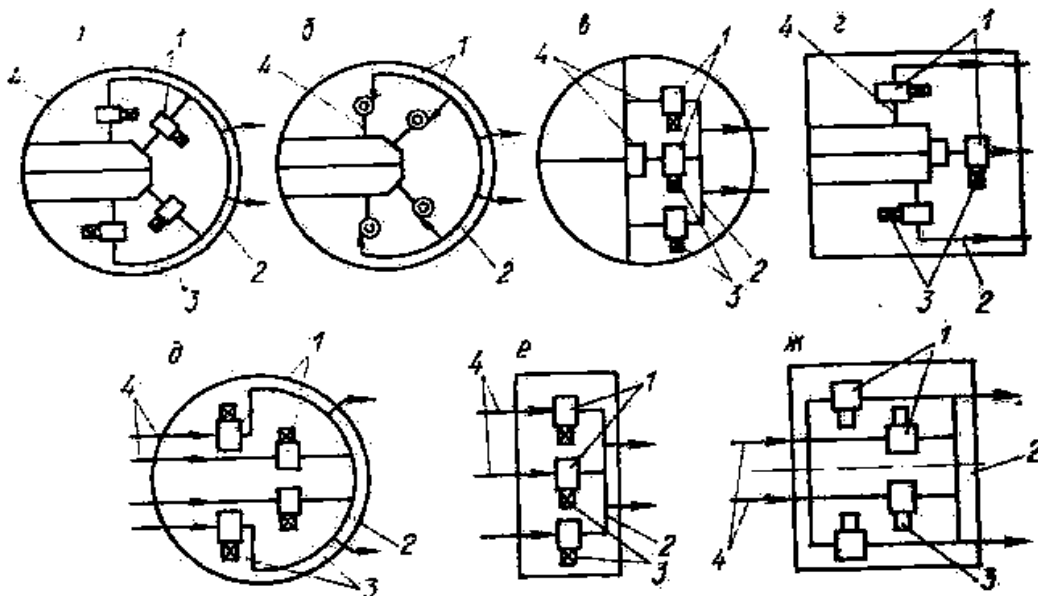


Рис. 3 - Схеми розміщення насосних агрегатів на станціях першого підйому: а - кільцеве розташування горизонтальних насосів типу Д на станції, сполученої з водозабором; б - кільцеве розташування вертикальних насосів на станції, сполученої з водозабором; в - однорядне розташування горизонтальних насосів на станції, сполученої з водозабором; г - однорядне розташування горизонтальних насосів у прямокутній споруді, сполученій з водозабором; д, ж - дворядне розміщення горизонтальних насосів у будинку станції роздільного типу; е - однорядне розміщення горизонтальних насосів у прямокутній споруді станції роздільного типу; 1 - насос; 2 - нагнітальні трубопроводи; 3 - електродвигун; 4 - усмоктувальні труби

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

Для зменшення габаритів станції використовуються насоси, що допускають встановлення електродвигуна з обох кінців валу (рис. 3, д), але при цьому робоче колесо повинне обертатися тільки в одному напрямку.

Проектування усмоктувальних і напірних трубопроводів насосних станцій першого підйому. Усмоктувальні трубопроводи є найбільш відповідальними елементами насосних установок, тому що від правильності їхнього розрахунку, конструкції й експлуатації залежить економічність роботи насосів. Найчастіше усмоктувальні труби працюють в умовах вакуумметричного тиску.

Найкращою умовою для нормальної роботи насосів є забезпечення кожного насоса індивідуальною усмоктувальною трубою. Однак це можливо тільки при використанні осьових, вертикальних відцентрових й малого числа (до чотирьох) горизонтальних насосів. При числі горизонтальних відцентрових насосів більше чотирьох на станціях роздільного типу значно збільшуються габарити водозабірних споруд, ускладнюється пристрій усмоктувальних трубопроводних комунікацій, що призводить до подорожчання будівництва гідровузла в цілому. У цьому випадку можна приймати кількість усмоктувальних труб за межами споруди менше числа насосів за умови добудови загального колектора, до якого підключають насоси. Кількість зовнішніх усмоктувальних ліній на насосних станціях першої й другої категорії надійності не повинна бути менш двох. При цьому кожна з ліній повинна бути розрахована на повну розрахункову витрату для станцій першої й другої категорії і 70% розрахункової витрати - для станцій третьої категорії.

При конструюванні усмоктувальних трубопроводів необхідно враховувати наступні вимоги:

1) усмоктувальна лінія повинна бути герметична для уникнення проникнення повітря усередину труби, тому що нерозчинене у воді повітря

різко впливає на подачу насоса. Підсмоктування 1% повітря на 1 м³ води, що перекачується, знижує подачу на 5...10%, при цьому знижується напір;

2) конструкція усмоктувальної лінії повинна виключати можливість скупчення в ній повітря (утворення повітряних «мішків»). Верхня утворююча довгих трубопроводів повинна мати ухил у бік від насоса не менше 0,005. Якщо усмоктувальні труби декількох насосів об'єднані загальним колектором (рис. 3, ж), 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 бути можливо меншої довжини із найменшим числом арматур і фасонних частин.

Усмоктувальні трубопроводи як у межах насосної станції, так і за її межами виконуються зі сталевих труб на зварюванні із застосуванням фланцевих з'єднань для приєднання до арматур і насосів.

Діаметри трубопроводів визначаються за економічними швидкостями: при $v_e = (0,6...1)$ м/с - діаметр до 250 мм; при $v_e = (0,8...1,5)$ м/с $d = (300...800)$ мм і при $v_e = (1,2...2,0)$ м/с - $d > 800$ мм.

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

Усмоктувальні трубопроводи й колектори на станціях першого підйому (заглиблених і шахтних) найчастіше укладають на підлозі машинної зали на бетонних підставках, із перехідними містками над трубами. В окремих випадках при відповідному техніко-економічному обґрунтуванні допускається укладання в каналах. У кожному разі до усмоктувальних труб повинен забезпечуватися вільний доступ для їхнього огляду й періодичної підтяжки болтових з'єднань.

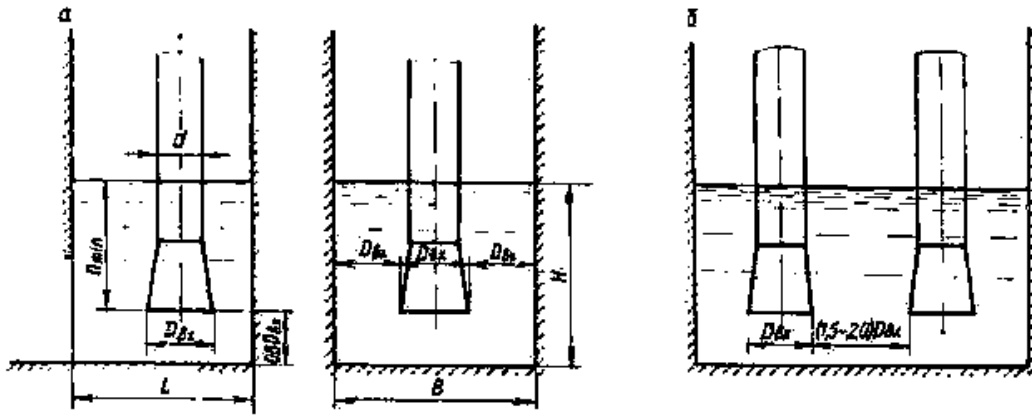


Рис. 4 - Схеми розміщення усмоктувальних труб у камері:
 а - при одній усмоктувальній трубі; б - при двох трубах

Прийомні кінці усмоктувальних труб у камерах водоприймальних споруд повинні розміщуватися таким чином, щоб забезпечити вільне й рівномірне підведення води (рис. 4). Для зниження опору при вході потоку до усмоктувальних трубопроводів приварюються приймальні конуси, діаметр вхідного отвору яких приймається $D_{вх} = (1,25...1,5) d$, де d — діаметр усмоктувальної труби. Центральний кут конічності вирви $\varphi = 8...16^\circ$. Щоб уникнути утворення вирви і засмоктування повітря, обріз приймального конуса занурюють на мінімальну глибину $h_{min} = (0,6...1,2)$ м. У випадку, якщо цю глибину занурення забезпечити не можна, на кінцях приймальних конусів влаштовують екрани, які мають вигляд металевих пластин з розміром не менш $2D_{вх}$. Відстань від вхідного отвору до підлоги камери повинна бути не менш $0,8D_{вх}$. Приймальні клапани встановлюють на усмоктувальних трубопроводах діаметром не більше 200 мм. При більших діаметрах занадто велика вага клапана призводить до підвищених втрат напору.

Основні геометричні розміри камер усмоктувальних труб визначають за кратністю водообміну:

$$L = \frac{W}{BH} = \frac{kQ}{BH},$$

де W - обсяг води в камері, m^3 ; Q - середня подача насоса, m^3/c ;

k - кратність водообміну: $k = W/Q = 15...20$.

Усмоктувальні труби осьових і вертикальних відцентрових насосів мають складну форму (рис. 5). Вони виконуються з металу й поставляються разом з насосами або робляться з бетону при спорудженні підводного блока споруди насосної станції.

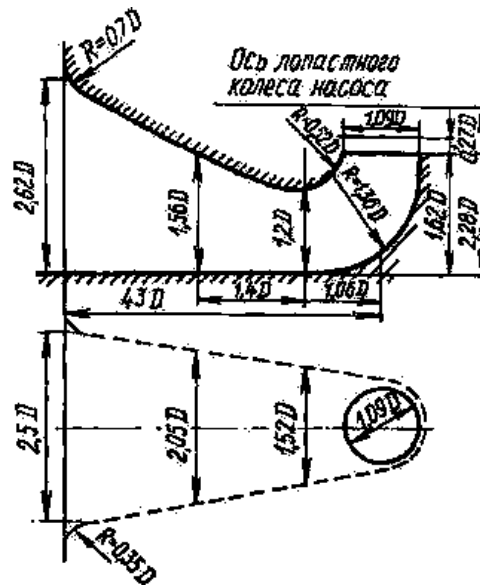


Рис. 5 - Вигнута усмоктувальна труба (підведення) осьового насоса

Напірні трубопроводи насосних станцій призначаються для подачі рідкого середовища від насосів до водоводів. Найчастіше кількість водоводів, що відходять від станції, буває меншою числа насосів, тому напірні трубопроводи поєднують у загальний колектор. Всі напірні трубопроводи і колектори усередині насосної станції виконуються зі сталевих труб при зварюванні з використанням фланцевих з'єднань для кріплення їх до насосів і арматур. Труби різних діаметрів з'єднують прямими переходами. Діаметри напірних трубопроводів визначають за розрахунковою витратою води та економічних швидкостях, які розраховують так:

$$v_e = (0,8...2,0) \text{ м/с для труб діаметром до } 250 \text{ мм};$$

$$v_e = (1,0...3,0) \text{ м/с при } d=(300... 800) \text{ мм};$$

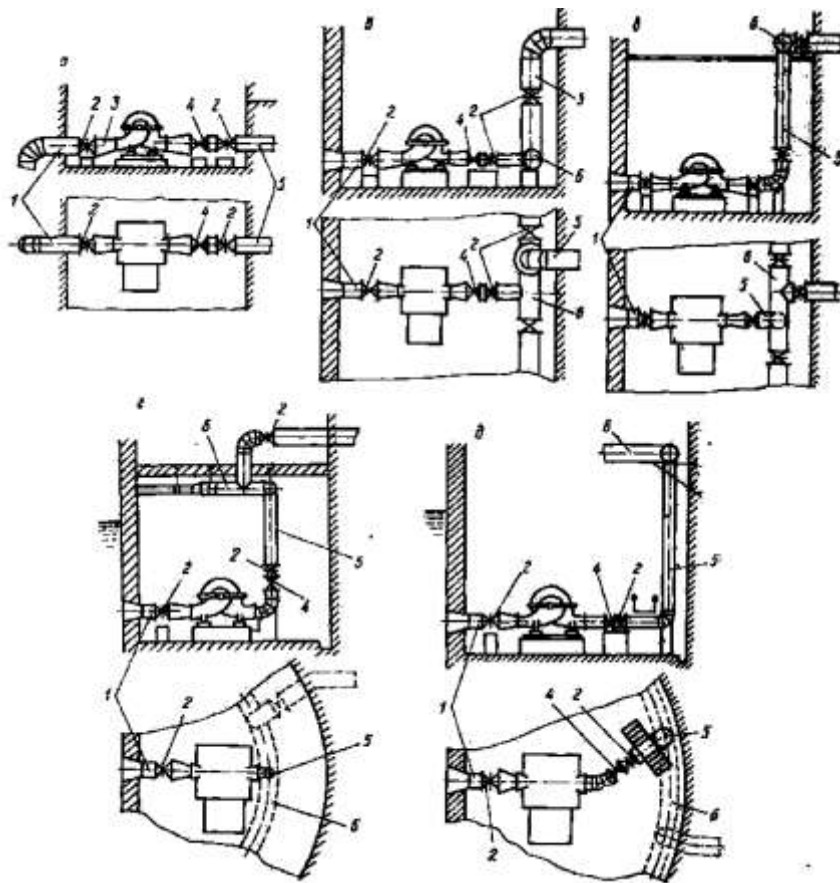
$$v_e = (1,5...4,0) \text{ м/с при } d>800 \text{ мм}.$$

На напірній стороні кожного насоса встановлюється зворотний клапан, що перешкоджає зворотному струму води, що перекачується, у випадку припинення подачі енергії до електродвигуна насоса (аварійний випадок), а

також при вимиканні насоса, якщо система розрахована на запуск і зупинку насоса при відкритій засувці. На напірних трубопроводах є необхідне число засувок, водоміри (індивідуальний на кожен насос або сумарний на початку водоводу), гасителі енергії гідравлічного удару (при необхідності) і контрольно-вимірювальна апаратура.

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

На рис. 6 показані схеми найбільш характерних компоновань усмоктувальних і напірних трубопроводів насосних станцій першого підйому. На станції роздільного (рис. 6, *а*) типу кожен насос обладнується індивідуальними усмоктувальними й напірними трубопроводами. В окремих випадках усмоктувальні й напірні трубопроводи можуть бути об'єднані відповідно усмоктувальними і напірними колекторами. На рис. 6, *б* показане компоновання з напірним колектором, розташованим на підлозі машинної зали. Схема з його розміщенням на підлозі верхнього (над машинною залюю) приміщення показана на рис. 6, *в*. На рис. 6, *г* наведена схема з підвісним напірним колектором, а на рис. 6, *д* — з напірним колектором, закріпленим до стіни на консолях.



*Рис. 6 - 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 за межами будинку заглиблених станцій зменшує можливість їхнього затоплення при аварії на трубопроводах усередині станції.

Схеми перемикачів усмоктувальних і напірних трубопроводів насосних станцій першого підйому. Безперебійність подачі води насосною станцією першого підйому значною мірою залежить від наявності запірної арматури на усмоктувальних і напірних трубопроводах у необхідній кількості. Її розміщення повинне 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 рис. 7 показані схеми перемикачів на насосних станціях сполученого типу, обладнаних горизонтальними (схеми а і б) і вертикальними (схеми в і г) насосами.

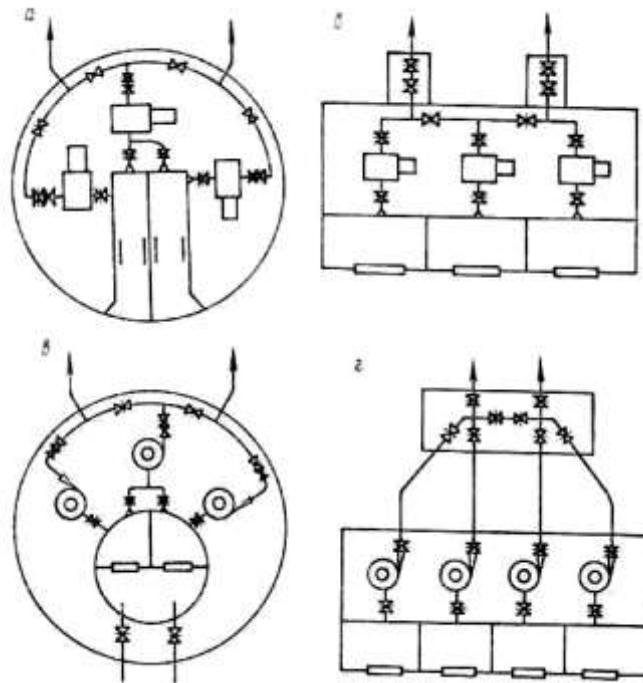


Рис. 7 - Схеми перемикачів усмоктувальних і напірних трубопроводів станцій першого підйому

Улаштування спареної усмоктувальної труби (схеми а і в) для одного (середнього) з насосів дозволяє забезпечувати постійну роботу двох насосів при відключенні на ремонт кожної з водоприймальних камер.

Споруди насосних станцій першого підйому. У будівлі насосної станції, крім службових і побутових приміщень, розміщують все гідромеханічне, електричне й допоміжне устаткування. Споруди насосних станцій першого підйому (рис. 8, в — сполучені, г — роздільні) найчастіше бувають заглибленого типу. Вони складаються з підземної частини (I) і верхньої будови (II). Споруди станцій поділяються на камерні (рис. 8, а, б, г) і блокові (рис. 8, в).

Причому залежно від використовуваного насосного устаткування камерні будинки можуть бути із сухою (рис. 8, а, з) і мокрою (рис. 8, б) камерами.

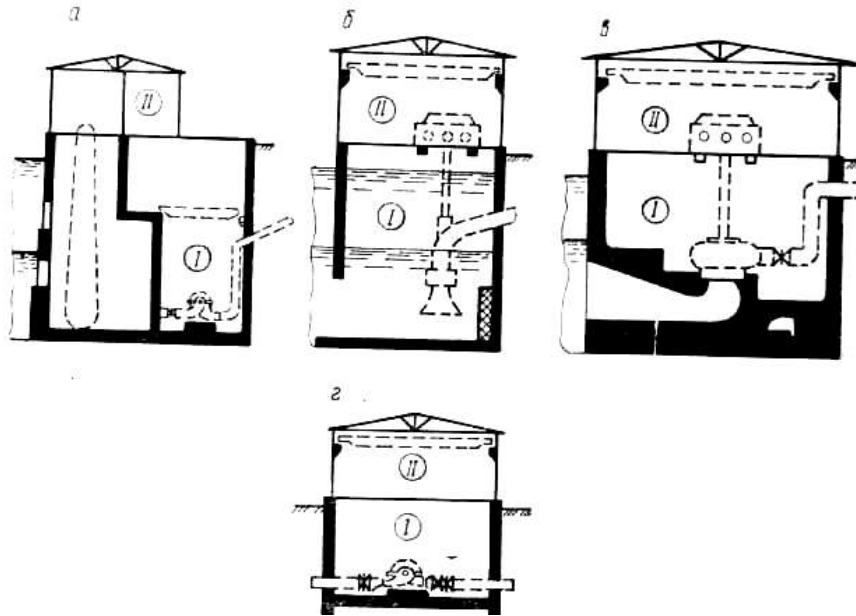


Рис. 8 - Типи споруд насосних станцій першого підйому

У будівлях, виконаних за схемою, наведеною на рис. 8, а, можуть бути використані як горизонтальні, так і вертикальні відцентрові насоси; у будівлях, виконаних за схемою б - тільки вертикальні осьові насоси, а за схемою з - тільки горизонтальні відцентрові.

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

Враховуючи, що підземна частина будівлі перебуває в складних гідрогеологічних умовах, при 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 із збірних залізобетонних конструкцій. Підземну частину будови блокового типу роблять у вигляді монолітного бетонного блока, при

спорудженні якого одночасно виконують усмоктувальні труби насосів. Будови такого типу потрібні для великих водопровідних станцій.

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

Верхня будова споруди насосної станції являє собою споруду промислово-цехового типу. В більшості випадків її виконують із цегли або збірних залізобетонних конструкцій. У наземній частині будівлі розміщують всі службові й побутові приміщення, трансформаторну підстанцію, а на станціях, обладнаних вертикальними насосами, розміщена також зала електродвигунів (рис. 8, б, в). При сприятливих кліматичних умовах насосні станції першого підйому можуть споруджуватися без верхньої споруди на відкритих майданчиках.

Вертикальні розміри приміщень насосних станцій, обладнаних стаціонарними вантажопідйомними механізмами для підйому й транспортування вантажів, вибирають 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. Висоту машинних приміщень без кранового устаткування приймають не менш 3 м. Остаточні розміри будинків (у плані й вертикальні) уточнюються згідно СНіПу.

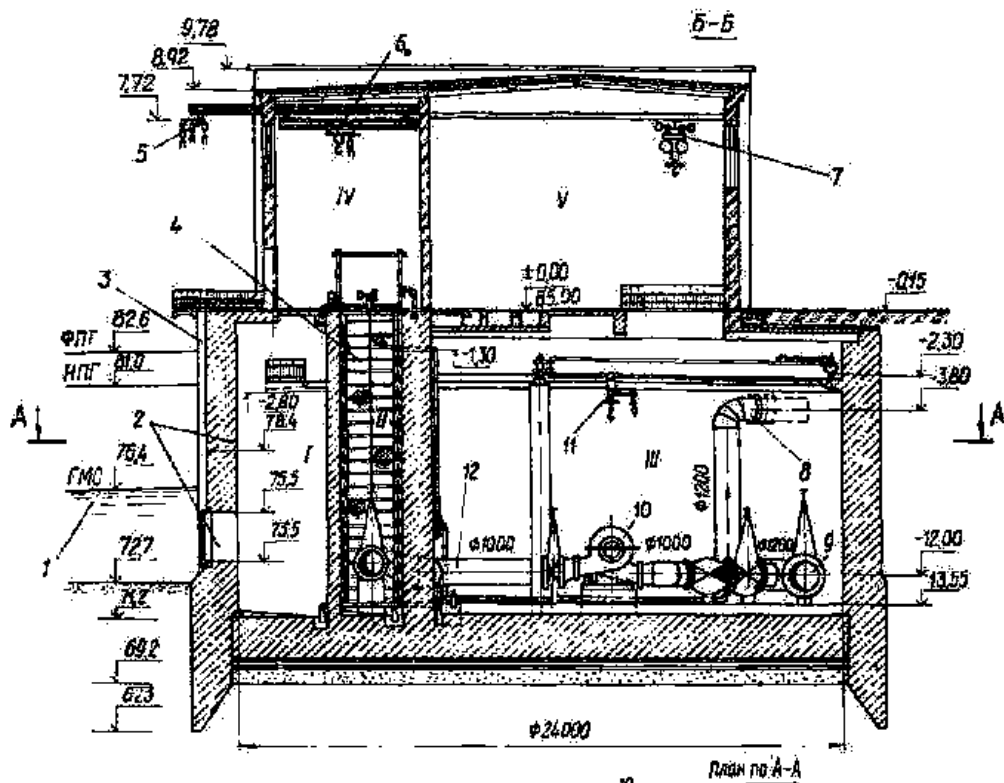


Рис. 9 - Берегова станція першого підйому, сполучена із сегментним водоприймачем: I - водоприймач; II - камера усмоктувальних труб; III - машинна зала; IV - приміщення для ґрат; V - службове приміщення; 1 - джерело; 2 - водоприймальні вікна; 3 - паз ремонтної засувки; 4 - сітка; 5-7,11 - вантажопідйомні механізми; 8 - нагнітальний трубопровід; 9 - нагнітальний колектор; 10 - насос; 12 - усмоктувальна труба; 13 - труби технічного водопостачання станції

Приклади насосних станцій першого підйому на поверхневих джерелах.

Будівля насосної станції першого підйому берегового типу, показана на рис. 9, заглиблена, кругла в плані, камерного типу із сухою камерою. Проектом передбачена можливість установа чотирьох насосів двох марок Д5000-50 або Д4000-22, при яких повна подача станції становить 4,5...6 м³/с. Вода із джерела через водоприймальні вікна, розміщені у два яруси, потрапляє в прийомну камеру й, пройшовши через обертові сітки, надходить у камери усмоктувальних труб. При необхідності воду до водоприймача можна підводити по самопливних лініях. Спорудою допускається амплітуда коливання рівня води до 8 м. Обертові сітки промиваються водою з напірних трубопроводів станції. Напірний колектор прокладений на підлозі машинної зали.

Машинне приміщення обладнується радіальною кран-балкою вантажопідйомністю 10 т. У верхнім 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 затулук водоприймальних вікон за межами будовою передбачена монорейка з ручною кішкою вантажопідйомністю 2 т.

Підземна частина станції виконується з монолітного залізобетону, а верхня споруда - із цегли.

На рис. 10 показана берегова станція першого підйому з водоприймачем у центральній частині будівлі. Водоприймач із вікнами в три яруси розділений на дві секції. У ньому встановлені обертові сітки з переднім підведенням води. Станція обладнана чотирма насосами марки Д3200-55, її подача становить 5...6 м³/с. Амплітуда коливання рівня води - до 10 м.

Насоси об'єднані попарно напірними колекторами, розташованими біля стін машинної зали на висоті 4 м. Водоміри й гасителі енергії гідравлічного удару, встановлені на напірних водоводах, розміщені за межами будови у спеціальних камерах.

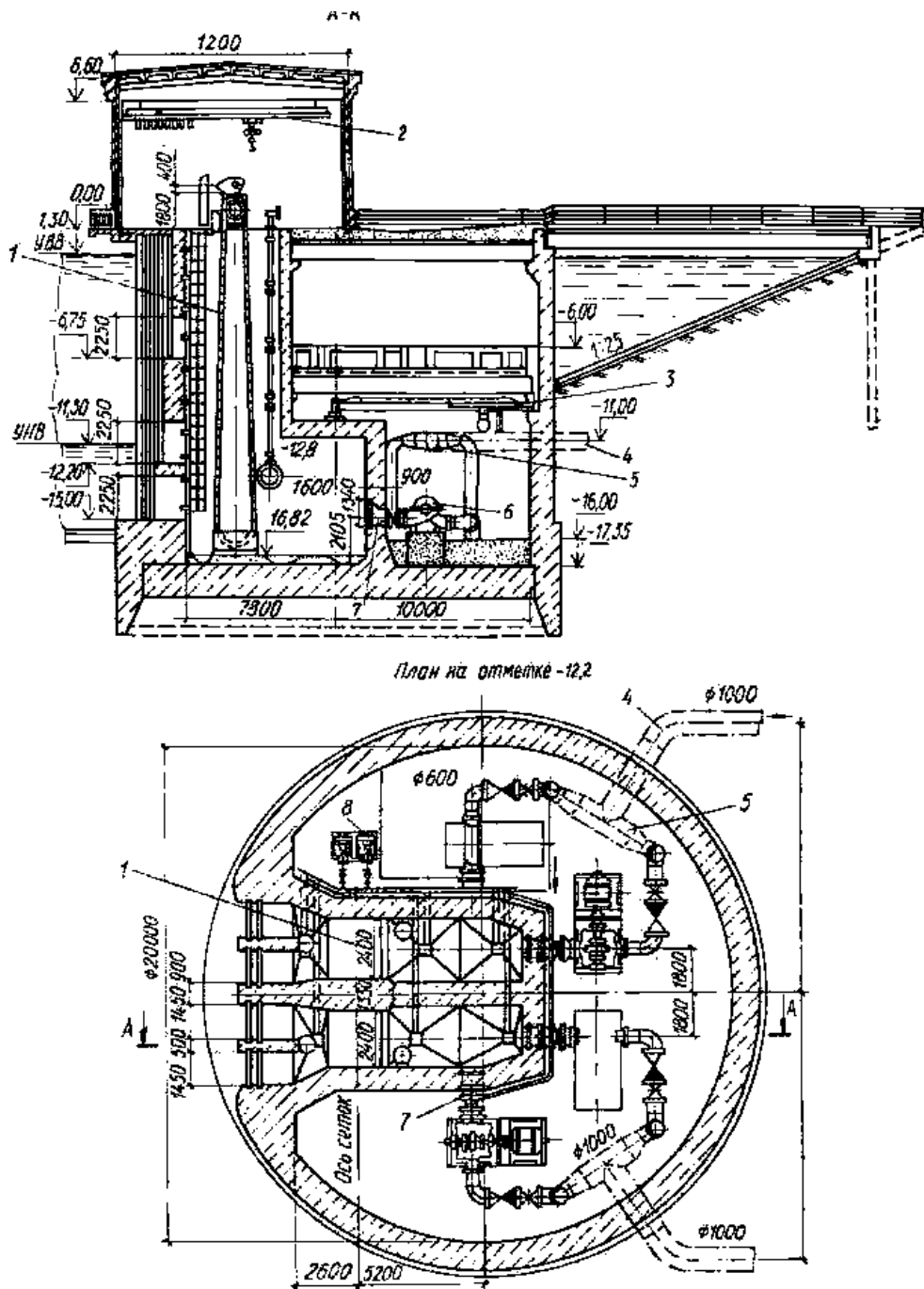


Рис. 10 - Берегова насосна станція першого підйому із внутрішнім водоприймачем: 1 - обертальна сітка; 2 - кран-балка (5 т); 3 - радіальна кран-балка (10 т); 4 - нагнітальний трубопровід; 5 - нагнітальний колектор; 6 - насос; 7 - усмоктувальна труба; 8 - дренажна установка

У машинному приміщенні є радіальний мостовий кран вантажопідйомністю 10 т. Для обслуговування затворів і обертових сіток у верхнім приміщенні встановлена кран-балка вантажопідйомністю 5 т.

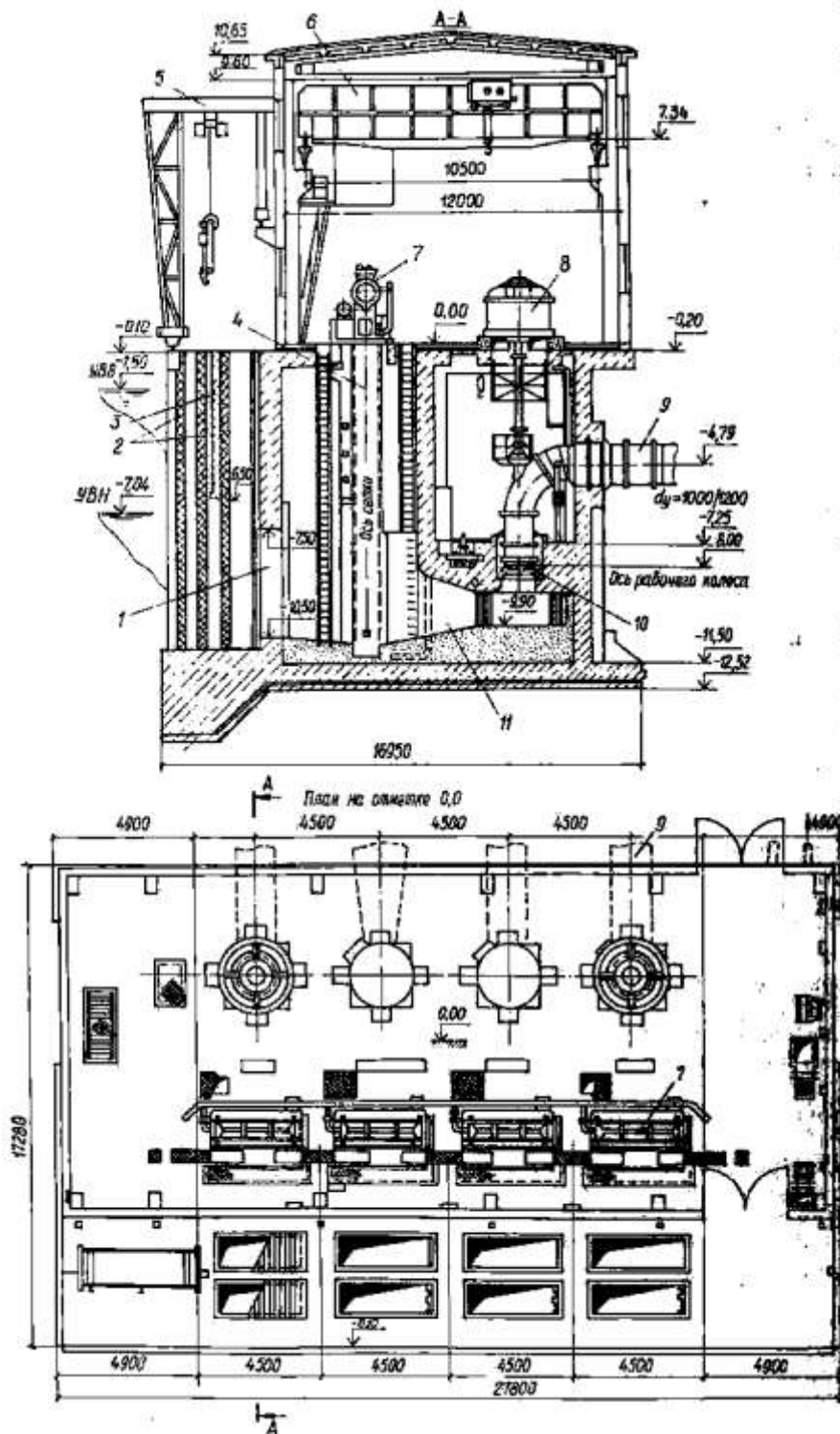


Рис. 11 - Берегова насосна станція з осьовими насосами:
 1 - водоприймальне вікно; 2 - ґрати; 3 - ремонтна затулка;
 4 - оберտальна сітка; 5 - напівкозловий кран; 6 - мостовий кран;
 7 - привід сітки; 8 - електродвигун; 9 — нагнітальний трубопровід;
 10 - осьовий насос; 11 - усмоктувальна труба

Підземна частина станції являє собою круглий колодезь із монолітного залізобетону, який споруджують опускним способом. Верхня частина будівлі виконана із цегли.

У підземній частині, крім машинної зали і водоприймача, розміщуються всі службові приміщення: електрична підстанція, майстерня, диспетчерська, склади запасного устаткування й ін. Для відкачування дренажних вод з машинної зали в ній встановлені два дренажних насоси. Промивання обертових сіток робиться водою з напірних трубопроводів. У водоприймачі передбачені струминні насоси для видалення мулу.

Типова насосна станція першого підйому (рис. 11) обладнана чотирма вертикальними осьовими насосами марки ОПВ 2-87 з подачею $3 \text{ м}^3/\text{с}$ кожний при напорі 13,6 м. Водоприймач розділений на чотири секції згідно з числом насосів. Вода до насосів підводиться через прямокутні вікна із ґратами. У середині камер встановлені обертові сітки з переднім підведенням води. Амплітуда коливання рівня води - 5,5 м.

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

Насосні станції першого підйому з підземних джерел

Загальна схема водозабірної споруди першого підйому. Для забору води з підземного джерела кожна водозабірна споруда (свердловина, шахтний колодезь) обладнують індивідуальною насосною установкою. Всі насоси підключають до загального колектора або водоводу, яким вода транспортується на очисні споруди, а якщо очищення не потрібне - у резервуар чистої води. Кількість установок, що входять у загальну систему водозабору першого підйому, залежить від обсягу водоспоживання й потужності водоносних шарів.

До складу водозабірної споруди першого підйому (рис. 12) входять насосні установки 1 на свердловинах, якими вода напірними трубами 2 перекачується на очисні споруди 3 (при необхідності) та в резервуар чистої води 4, звідки за допомогою насосів станції другого підйому постачається споживачеві.

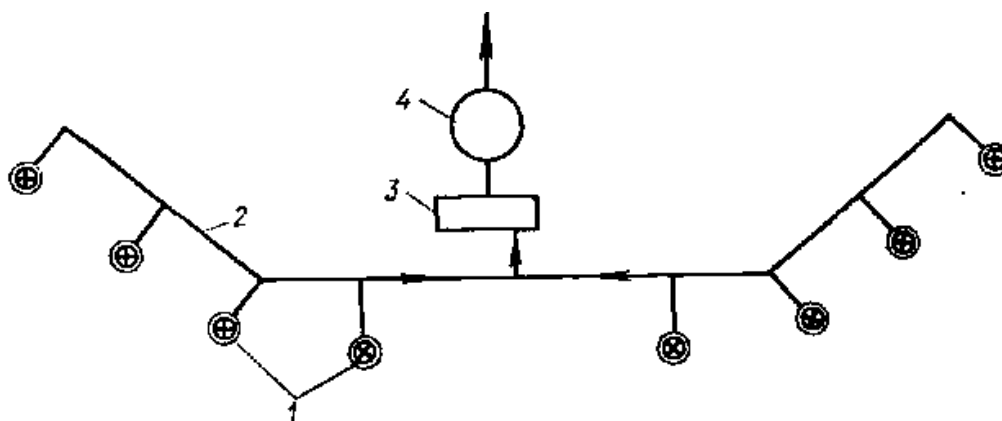


Рис. 12. Схема водозабірної споруди першого підйому на підземному джерелі

Режим роботи, визначення подачі та напору. При використанні підземних джерел водопостачання режим роботи насосних установок першого підйому протягом доби в більшості випадків призначається рівномірним. Рівномірний режим дозволяє стабілізувати роботу свердловини, повніше використати експлуатований водоносний шар, зменшити відбір води із свердловини в порівнянні з її розрахунковим дебетом, а отже, і розміри насосного устаткування.

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

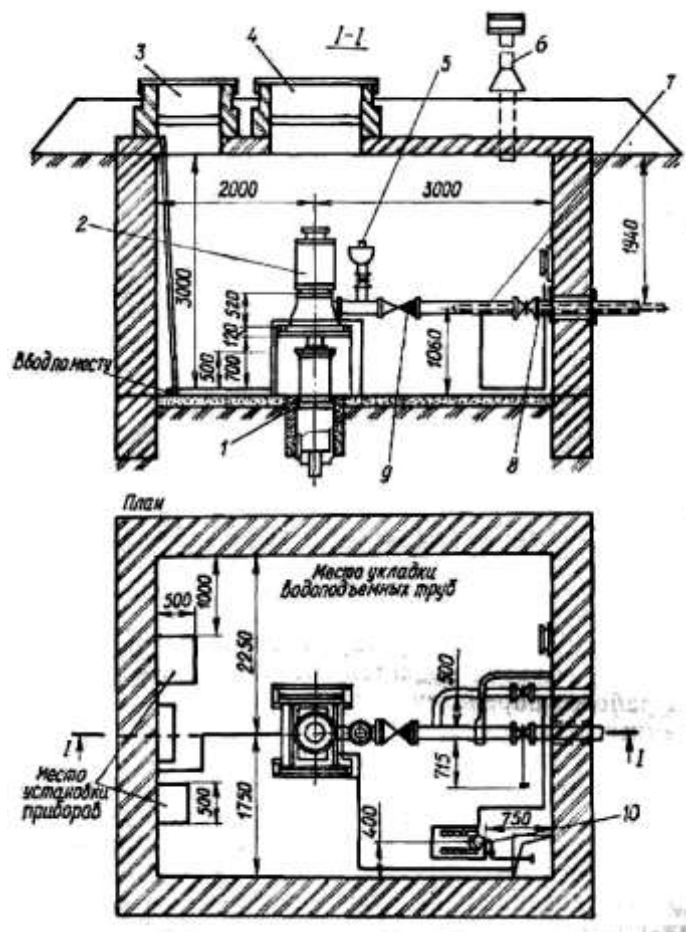


Рис. 13 - Насосна установка заглибленого типу на свердловині:
 1 — гирло свердловини; 2 — електродвигун; 3 — експлуатаційний люк;
 4 - монтажний люк; 5 — вантуз; 6 — вентиляційна труба; 7 — напірний
 трубопровід; 8 — засувка; 9 — зворотний клапан; 10 — дренажний насос

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

При розрахунку режиму роботи насосних установок на свердловинах необхідно враховувати наступне. Заводи - виробники в паспортах свердловинних насосів надають характеристики без урахування втрат напору у водопідйомній трубі в межах свердловини, тому що довжина цієї труби в

<i>d</i>, мм	50	75	100	125	150
<i>s</i> (на 10 м труби)	0,01	0,0015	0,00025	0,000075	0,000028

При розрахунку подачі насосних установок першого підйому необхідно також урахувати можливість їхнього використання для поповнення витраченого протипожежного запасу води. Останній може бути поповнений за рахунок форсування роботи насосних установок, що перекачують воду для господарських потреб. Якщо форсований режим неможливий, необхідно передбачати спеціальні протипожежні свердловини з повним комплектом устаткування. Подача насосів з урахуванням поповнення недоторканного протипожежного запасу підраховується за формулами.

Приклади насосних станцій (установок) першого підйому на підземних джерелах. Насосні установки першого підйому споруджують над гирлом водозабірних свердловин. Приміщення для установок, залежно від гідрогеологічних умов, виконують у вигляді заглибленої камери або наземного павільйону. У ньому розташоване гирло свердловини, електродвигун (якщо свердловина обладнана насосом із трансмісійним валом), запірно-регулююча й запобіжна арматури, контрольно-вимірювальні прилади. Розміри приміщення в плані залежать від розміщення устаткування (звичайно 3х3 м), висота повинна бути не менше 2,5 м.

На рис. 15 зображена насосна установка першого підйому на свердловині, обладнана насосом із трансмісійним валом. Приміщення для установки виконане у вигляді заглибленої підземної камери. Захисні конструкції таких камер виготовляються з монолітного або збірного залізобетону.

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

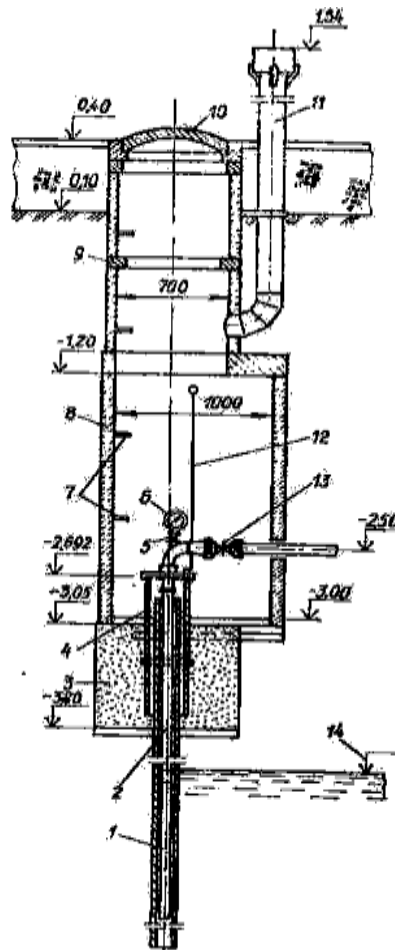


Рис. 15 - Насосна установка першого підйому на свердловині в заглибленій камері колодязного типу: 1 — заглиблений насос; 2 — напірна труба; 3 — фундамент; 4 — гирло свердловини; 5 — триходовий кран; 6 — манометр; 7 — скоби; 8 — залізобетонні кільця; 9 — гніздо для дерев'яної кришки; 10 — кришка; 11 — вентиляційна труба; 12 — силовий кабель; 13 — засувка; 14 — позначка динамічного рівня.

Електроенергія до кожної установки підводиться по повітряній або кабельній лінії. Монтаж і демонтаж устаткування роблять автокраном або за допомогою триноги з поліспастом через монтажний люк. Керування роботою агрегату здійснюється з диспетчерського пункту.

Насосна установка першого підйому на свердловині (рис. 15) обладнана заглибленим насосом. Вона побудована у вигляді наземного павільйону. В ній передбачене приміщення для встановлення силового трансформатора й комплектного розподільного пристрою. Захисні конструкції павільйону виконують із цегли, шлакоцементних блоків, збірного залізобетону й інших матеріалів.

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, при розрахункових параметрах (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 переміщеної рідини (енергії тиску).

Насосний агрегат – насос, що агрегується із двигуном.

Насосна установка - насосний агрегат у комплексі із трубопроводами (усмоктувальним, напірним) та іншим устаткуванням.

Насосна станція - комплекс насосних установок.

До складу обладнання насосних станцій входять: основне, механічне й допоміжне устаткування. Основне устаткування: насоси й приводні двигуни.

Механічне устаткування: пристрої, що утримують сміття, затвори, підйомно-транспортне обладнання.

Допоміжне устаткування: трубопроводи й комунікації, системи технічного водопостачання (СТВ), дренажно-осушувальна система (ДОС), система мастилопостачання (СМП), система пневматичного господарства (СПГ), вакуум-система, контрольно-вимірювальні прилади і система автоматики (КВПіА), електричне устаткування, санітарно-технічне й протипожежне устаткування.

Параметри насосних станцій

- продуктивність (подача) ($Q_{НС}$);
- повний напір ($H_{НС}$);
- потужність ($N_{НС}$);
- коефіцієнт корисної дії (ККД) (Т)(НС)

Продуктивність $Q_{НС}$, м³/год (л/с) - кількість рідини, що перекачує станція в одиницю часу

$$Q_{\text{нс}} = \frac{W}{t},$$

де - об'єм рідини, м³, (л);

t - час, година (с)

Продуктивність станції визначається залежно від заданої продуктивності системи (водопостачання, водовідведення) і добового режиму водоспоживання (водовідведення). Повний напір станції $H_{\text{нс}}$, м визначається повним напором насосних установок.

Повний напір насосної установки H , м - різниця повних питомих енергій потоку на виході й вході в насос

$$H = e_{2-2} - e_{1-1}$$

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

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

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

Схема насосної установки наведена на рис. 16

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

Геометрична висота підйому рідини (геометричний напір) - H_{Γ} , м,

$$H_{\Gamma} = h_{\text{yc}} + h_{\text{н}}$$

де h_{yc} - геометрична висота усмоктування, м;

$h_{\text{н}}$ - висота нагнітання, м

h_{yc} - 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.

$h_{\text{н}}$ — відстань від осі насоса до рівня рідини в баці - споживачеві.

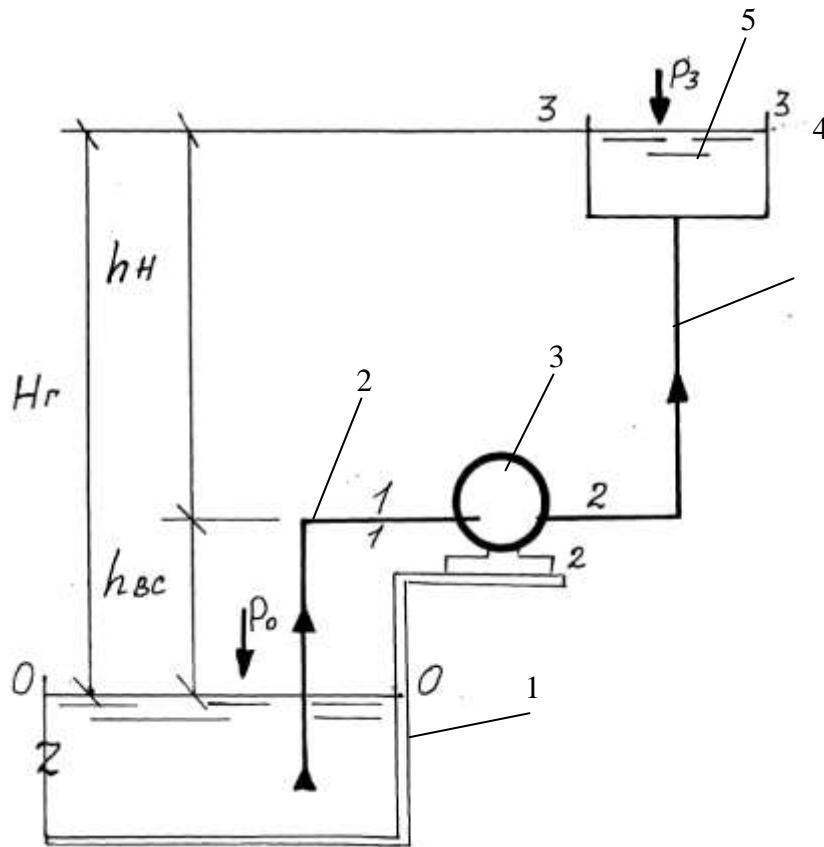


Рис. 16 – Схема насосної установки

У вищезазначеній схемі установки (відкриті посудини під атмосферним тиском), рух рідини в усмоктувальному трубопроводі відбувається за рахунок різниці тисків у перетинах 0-0 й 1-1, в умовах вакууму, $p_{\text{вак}} \text{ кг/см}^2$,

$$p_{\text{вак}} = p_a - p_1,$$

де p_a — атмосферний тиск, що відповідає геодезичній позначці розташування установки, кг/см^2 ;

p_1 - абсолютний тиск у потоці на вході в насос, кг/см^2 (причому: $p_1 < p_a$);

Потік рідини в напірному трубопроводі завжди перебуває в умовах манометричного тиску p_m , кг/см^2 ,

$$P_m = P_2 - P_a,$$

де P_2 — абсолютний тиск у потоці на виході з насоса, кг/см^2 Повна енергія потоку на виході з насоса (e_{2-2}) і на вході в насос (e_{1-1}) щодо його осі дорівнює:

$$e_{2-2} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{a_2 v_2^2}{2g}$$

$$e_{1-1} = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{a_1 v_1^2}{2g}$$

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

Значення $\frac{p_1}{\gamma}$ встановлюють із рівняння Бернуллі, складеного для перетинів 0-0 й 1-1, щодо площини 0-0:

$$\frac{p_0}{\gamma} = h_{yc} + \frac{a_1 v_1^2}{2g} + h_{wyc}$$

де h_{wyc} - втрати напору в усмоктувальному трубопроводі, м.

$$\frac{p_1}{\gamma} = \frac{p_0}{\gamma} - h_{yc} - \frac{a_1 v_1^2}{2g} - h_{wyc}$$

$\frac{p_2}{\gamma}$ визначають із рівняння Бернуллі, складеного для перетинів 2-2 й 3-3,

щодо площини 0-0

$$h_{yc} + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{a_2 v_2^2}{2g} = h_{yc} + h_n + \frac{p_3}{\gamma} + h_{wn}$$

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

$$\frac{p_2}{\gamma} = h_n + \frac{p_3}{\gamma} + h_{wn} - \frac{a_2 v_2^2}{2g}$$

Підставляємо (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: $\frac{p_3}{\gamma} = \frac{p_0}{\gamma} = \frac{p_a}{\gamma}$; при $d_1=d_2$; $V_1=V_2$

$$H = h_{yc} + h_n + h_{wyc} + h_{wn},$$

З огляду на (1.3):

$$H = H_{\Gamma} + \Sigma h_w,$$

де $\Sigma h_w = h_{\text{вус}} + h_{\text{вн}}$ - сума втрат напору в усмоктувальних і напірних трубопроводах, м.

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

$$N_n = \frac{A}{t},$$

Робота насоса A , кГм (Дж):

$$A = GH = mgH,$$

де G - вага переміщуваного обсягу рідини, кг; m - маса переміщуваного обсягу рідини, кг·с²/м;

$$m = \rho W = \rho Q t$$

ρ - щільність рідини, кг/м³;

W - об'єм, м³

Q - продуктивність насоса, м³/с.

Введення (1.17) в (1.16):

$$A = \rho Q t g H,$$

Введення (1.18) в (1.15):

Потужність N_n , Вт:

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

Корисна потужність насоса N_n Вт:

$$N_n = \rho g Q H, \text{ Вт}$$

Для води $\rho = 1000$ кг/м³ при Q , м³/с, H , м:

$$N_n = g Q H, \text{ кВт}$$

Для води: при Q , л/с, H , м, $g = 9,81$ м/с²:

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

$$N_n = \frac{Q H}{102}, \text{ кВт}$$

Потужність насосної станції N_{nc} кВт, дорівнює: $N_{nc} = \sum N_n$.

Потужність, що підводиться до вала насоса N_e , кВт:

$$N_e = \frac{N_n}{\eta_n},$$

де η_n - повний ККД насоса, %;

Повний ККД насоса, η , % - співвідношення корисної потужності насоса до потужності валу насоса:

$$\eta_n = \frac{N_n}{N_B}$$

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

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

$$N_{дв} = \frac{N_n}{\eta_n \eta_{дв} \eta_n} \cdot K$$

де η_n - ККД насоса, %;

$\eta_{дв}$ - ККД двигуна, %;

η_n - коефіцієнт передачі, %;

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

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

Коефіцієнт корисної дії насосного агрегату η_a , %:

$$\eta_a = \eta_n \eta_{дв} \eta_n$$

Для групи однотипних насосів, установлених на насосній станції, ККД станції η_{nc} , %, дорівнює:

$$\eta_{nc} = \eta_a,$$

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

$$\eta_{nc} = \frac{Q_{nc}}{\sum \frac{Q_i}{\eta_{a,i}}}$$

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

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

$\eta_{a,i}$ - ККД кожного насоса, %

Насосна станція на свердловині із приміщенням у вигляді камери колодезного типу, обладнана заглибленим насосом типу ЕЦВ, показана на

Насосні установки над свердловинами у вигляді наземних павільйонів у порівнянні з підземними зручніше в експлуатації, у них надійніше зберігаються устаткування й апаратура. Однак необхідність їхнього обігріву в зимовий час призводить до ускладнення експлуатації і збільшення витрати електричної енергії.

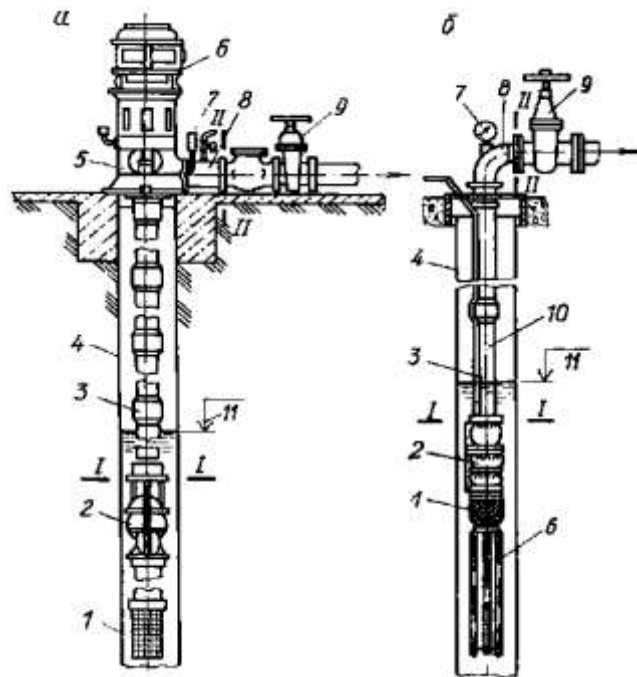
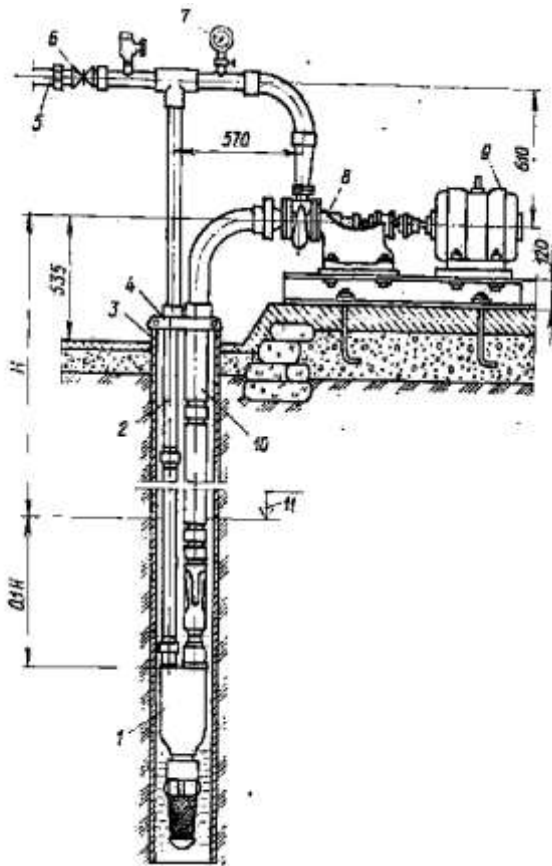


Рис. 17 - Схеми обладнання свердловин відцентровими насосами:

а - із трансмісійним валом; б - із заглибним агрегатом;

- 1 - усмоктувальна сітка; 2 - насос; 3 - водопідйомні напірні труби;
4 - експлуатаційна труба свердловини; 5 - опорна рама; 6 - електродвигун;
7 - манометр; 8 - напірний патрубок; 9 - засувка; 10 - кабель силової;
11 - позначка динамічного рівня.



*Рис. 18 - Водоструминна установка (типу ВН-2-8) на свердловині:
 1 - водоструминний насос (гідроелеватор); 2 - напірний трубопровід;
 3 - експлуатаційна труба свердловини; 4 - хомут; 5 - трубопровід, що
 відводить; 6 - засувка; 7 - манометр; 9 - електродвигун; 10 - водопідйомна труба;
 11 - позначка динамічного рівня в свердловині.*

У районі зі сприятливими кліматичними умовами устаткування гирла свердловини може бути розміщене на відкритому майданчику без захисних конструкцій. Устаткування при цьому накривається металевим ковпаком, що захищає його від пилу й атмосферних опадів.

На рис. 17 показані насосні установки з вертикальними відцентровими насосами для устаткування свердловин.

У сільськогосподарському водопостачанні для підйому води із свердловин знаходять застосовують водоструминні установки, сполучаючи струминні насоси з відцентровими (рис. 18). 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. При роботі установки частина води напірним трубопроводам надходить від відцентрового насоса до струминного, що забезпечує роботу останнього.

Водоструминна установка проста за конструкцією й надійна в експлуатації. Всі механізми, що вимагають технічного догляду, розміщують 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 й у середньому становить 15...20 м³/год.

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 й наявністю напірно-регулюючих споруд системи водопостачання.

На рис. 19, а суцільною лінією показаний ступінчастий графік водоспоживання, якщо коефіцієнт нерівномірності $K=1,35$. Якщо в мережі водокористувача немає напірно-регулюючої споруди (вежі), то для забезпечення споживачів водою в період максимального споживання (за графіком від 9 до 10 год.) часову подачу станції необхідно приймати по максимуму, що дорівнює 5,6% обсягу добового водоспоживання. При розглянутому графіку такий варіант буде неекономічний, тому що тривалість максимального водоспоживання невелика. Подача насосної станції за максимальним значенням часового водоспоживання за годину розрахункового графіка приймається в тому випадку, якщо максимум споживання має тривалий період й амплітуда його коливання невелика. Такі графіки характерні для великих міст із більшим обсягом добового водоспоживання.

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

На рис. 19, *a* штрих-пунктирною лінією показаний графік рівномірної протягом доби подачі води насосною станцією.

Часова подача насосів $Q = 100/24 = 4,17\%$ обсягу добового водоспоживання. Порівняння графіків подачі насосів і водоспоживання показує, що за період з 0 до 6 і з 23 до 24 год. водоспоживання менше подачі, а надлишковий обсяг води надходить у бак водонапірної вежі. За період від 6 до 23 год. (крім періоду від 13 до 15 і від 17 до 18 год.) на додаток до обсягу води, що перекачується насосами споживач одержує воду від водонапірної вежі. У такий спосіб здійснюється добове регулювання подачі води споживачеві. При рівномірній подачі регулюючий обсяг визначається площею, обмеженою графіком водоспоживання, розташованою під лінією, що характеризує подачу насосів (заштрихована площа), становить 6,98% обсягу добового водоспоживання. Однак при наявності в системі регулюючої ємності не завжди можна подачу насосної станції призначити рівною середньодобовому водоспоживанню. При високому коефіцієнті нерівномірності або при значних обсягах добового водоспоживання регулююча ємність водонапірної вежі може вийти занадто великою. Її будівництво виявиться економічно недоцільним.

Для зменшення регулюючої ємності приймають ступінчастий графік подачі насосної станції, наближаючи його до графіка водоспоживання. Звичайне число ступенів графіка подачі призначають не більше трьох, тому що його збільшення призводить до збільшення кількості насосів, що знижує економічні показники насосної станції. Робота насосної станції за графіком показана на рис. 19, *a* (штрихова лінія).

З 0 до 4 год. працює перша група насосів з подачею 2,5%, а з 4 до 24 год. до першої групи підключається друга група насосів, і повна їх часова подача дорівнює 4,5% обсягу добового водоспоживання. При наявності в системі водонапірної вежі при східчастій подачі буде здійснюватися добове регулювання. При східчастій подачі в порівнянні з рівномірною подачею регулюючий обсяг буде значно менше - 2,5% обсягу добового водоспоживання.

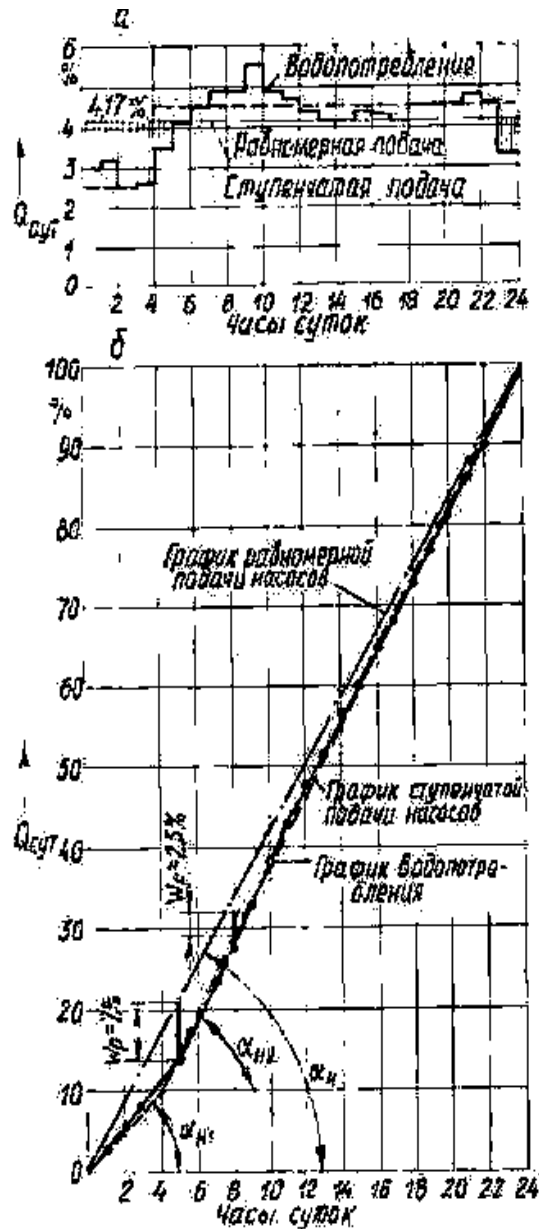


Рис. 19 - Сполучені графіки водоспоживання і подачі насосної станції другого підйому

Більш точно регулюючий обсяг підраховується табличним способом. У табл. 2 наведений розрахунок двох варіантів роботи насосної станції другого підйому відповідно до графіків на рис. 19,а. Одержані в результаті порівняння даних стопчиків 2, 3, 4 значення заносять у відповідні стопчиків 5, 6 або 8, 9. У результаті додавання (при надходженні води в бак) або вирахування (при витраті води з бака) значень стопчиків 5, 6 і 8, 9 заповнюються стопчиків 7 і 10, що характеризує наростання або убавання регулюючого обсягу води в баці. Регулюючий обсяг (W_p) визначається як сума абсолютних значень найбільших

позитивних і негативних чисел: при рівномірній подачі насосів $W_p=6,12+|-0,86|=6,98\%$, при східчастій $W_p=0,1+|-2,4|=2,5\%$.

Таблиця -2 Розрахунок регулюючої місткості водонапірної вежі при рівномірній і східчастій роботі насосної станції другого підйому

Час доби	витрата водоспоживання, %	Подача води насосами, %		Рівномірна подача, %			Східчаста подача, %		
		рівно мірна	східча ста	надходження в бак	Витрат а з бака	Залишок води в баці	надходження в бак	Витрат а з бака	Залишок води в баці
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
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	

Регулюючий обсяг при рівномірній роботі насосної станції становить 8...15%, а при східчастій - 2,5...6% обсягу добового водоспоживання.

Іноді для визначення регулюючого обсягу користуються інтегральними (сумарними) графіками подачі та водоспоживання (рис. 19, б). Вони являють 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). Тангенс кута нахилу лінії, що характеризує роботу насосної станції, являє собою подачу насосів у цей момент часу ($\operatorname{tg} a_n = Q_H = 0,0417W_{\text{доб}}$ — подача насосів при рівномірному графіку роботи; $\operatorname{tg} a_{n1} = Q_{n1} = 0,025 W_{\text{доб}}$ — подача насосів першого ступеня; $\operatorname{tg} a_{n2} = Q_{n2} = 0,045W_{\text{доб}}$ — подача насосів другого ступеня при ступінчастому графіку роботи насосної станції).

Аналогічно тангенс кута нахилу дотичної у будь-якій точці кривої водоспоживання визначає витрату водоспоживання в момент часу, що відповідає точці дотику.

Регулюючий обсяг визначається відрізком по вертикалі між дотичними, проведеними до кривої водоспоживання паралельно до лінії подачі насосів, і самою лінією подачі. На рис. 19, б $W_p \approx 7\%$ при рівномірній і $W_p \approx 2,5\%$ при східчастій роботі насосів.

Графічний спосіб визначення обсягу регулюючої ємності не забезпечує високої точності та може бути рекомендований для випадків водоспоживання з відносно більшим коефіцієнтом годинної нерівномірності.

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

$$W_p = Q_{\text{доб max}} [(1-K) + (K_q - 1) \left(\frac{K_H}{K_q} \right)^{\frac{K_q}{K_q - 1}}],$$

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

K_q — коефіцієнт годинної нерівномірності водоспоживання або відбору води з регулюючої ємності: $K_q = q_{q \text{ max}} / q_{q \text{ серед}}$;

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

$q_{q \text{ серед}}$ — середня годинна витрата води в добу максимального водоспоживання, м³/год.;

K_H — коефіцієнт часової нерівномірності подачі води насосною станцією у регулюючу ємність: $K_H = q_{H \text{ max}} / q_{q \text{ серед}}$;

$q_{н \max}$ — максимальна годинна подача насосної станції в розрахункову добу, м³/год.

Обладнання насосних станцій відцентровими насосами, що мають здатність до саморегулювання, дозволяє використовувати системи водопостачання без регулюючих ємностей при будь-якому значенні коефіцієнта годинної нерівномірності. Але застосування систем без вежі є економічно доцільно тільки при відносно невеликих коефіцієнтах годинної нерівномірності водоспоживання, у протилежному випадку зростають витрати електроенергії внаслідок необхідності подавати воду в години малих витрат при напорах, що значно перевищують необхідні.

Остаточно вибір варіанта подачі насосної станції другого підйому, а також необхідність включення в систему регулюючої ємності встановлюють на підставі порівняння техніко-економічних показників при різних варіантах.

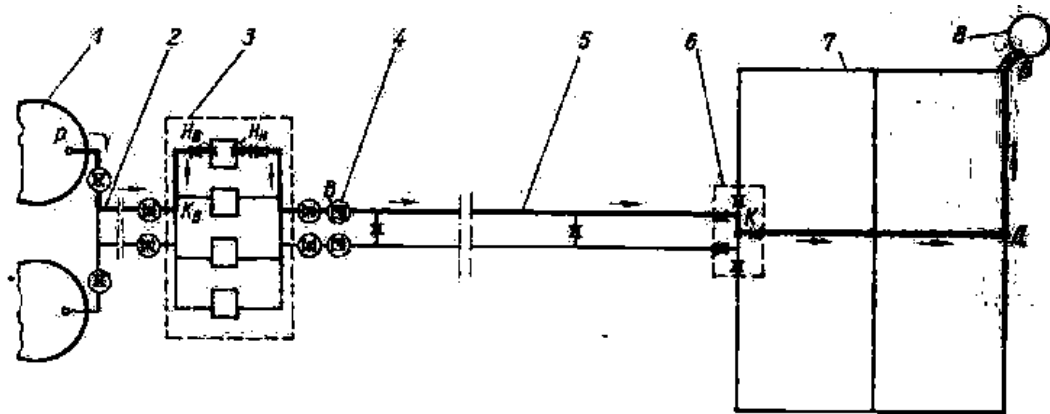


Рис. 20 - План розміщення споруд другого підйому:

- 1 - резервуари чистої води; 2 - усмоктувальний водовід (зовнішній);
- 3 - насосна станція другого підйому; 4 - водомір; 5 - нагнітальний водовід;
- 6 - камера підключення водоводу до мережі; 7 - мережа магістральних трубопроводів; 8 - водонапірна вежа

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 диктуючої точки). Він залежить від розрахункового вільного напору до диктуючої точки від наявності й місця розташування водонапірної вежі в системі від режиму роботи системи. Напір станції другого підйому може бути

визначений тільки після розрахунку водогінної мережі, визначення висоти водонапірної вежі й місця її розташування.

На рис. 20 показаний загальний ситуаційний план розміщення водопровідних споруд другого підйому. Для визначення необхідного напору насосної станції позначають найдовший з можливих шлях руху води від резервуарів чистої води (точка *P*) до диктуючої точки *B*. 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:

$$H = H_{\Gamma} + \Sigma h = H_{\Gamma} + h_{y.g} + h_{n.c} + h_{v.m} + h_{n.g} + h_m,$$

де H_{Γ} — геометрична висота підйому води, м;

$h_{y.g}$ - втрати напору в усмоктувальному водоводі (на ділянці *P-K₆*), м;

$h_{n.c}$ — в усмоктувальних і напірних комунікаціях усередині насосної станції (на ділянках *K_y-H_y* і *H_n - B*), м; $h_{v.m}$ — у водомірі, м;

$h_{n.g}$ — 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. Шевелева, за формулою:

$$h_{y.g} = (1,1 \dots 1,15) 1000 i l_{y.g}; h_{n.g} = (1,05 \dots 1,1) 1000 i l_{n.g}$$

У круглих дужках зазначені поправочні коефіцієнти, що враховують місцеві втрати на розрахункових ділянках. Втрати напору в комунікаціях насосної станції ($h_{n.c}$) складаються в основному із втрат у місцевих опорах, які для обраного розрахункового напрямку визначають окремо, а потім підсумовують. Цей розрахунок заносять до таблиці табл. 3.

Таблиця. 3 - Розрахунок втрат напору в комунікаціях насосної станції

Найменування вузла місцевого опору	Кількість однотипних вузлів	$d_{y,}$ мм	Q , л/с	ζ	v , м/с	$\frac{v^2}{2g}$, м	$h_m = \zeta \frac{v^2}{2g}$
Усмоктувальні комунікації (ділянка $K_y - H_y$)							
...
...
Нагнітальні комунікації (ділянка $H_n - B$)							
...
...

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 наведеною 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 нагнітальному $h_{наг} = (2...3)$ м.

Втрати напору на ділянці мережі (h_m) ураховують у тому випадку, якщо водонапірнорегулюючі споруди (вежа й ін.) виконують роль контррезервуарів або в системі взагалі відсутні напірно-регулюючі споруди. Ці втрати прирівнюють до втрат на головному напрямку від точки K до диктуючої точки D (рис. 21) (при режимі максимального водоспоживання) або до точки B (при режимі подачі максимального транзиту води у вежу).

На рис. 21 показана схема висотного планування споруд системи з вежею, розташованої до споживача. У цьому випадку для визначення напору господарських насосів розглядається один режим, при якому частина води, що подається насосами, надходить у вежу. Необхідний напір:

$$H = H_{г. yc} + \Sigma h = H_{г. yc} + z_{\delta} + H_e + H_p + \Sigma h_y + \Sigma h_{наг},$$

де $H_{г. yc}$ — розрахункова геометрична висота усмоктування, м;

z_{δ} - різниця геодезичних позначок землі в підвалі вежі та осі насоса, м;

H_e - 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;

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

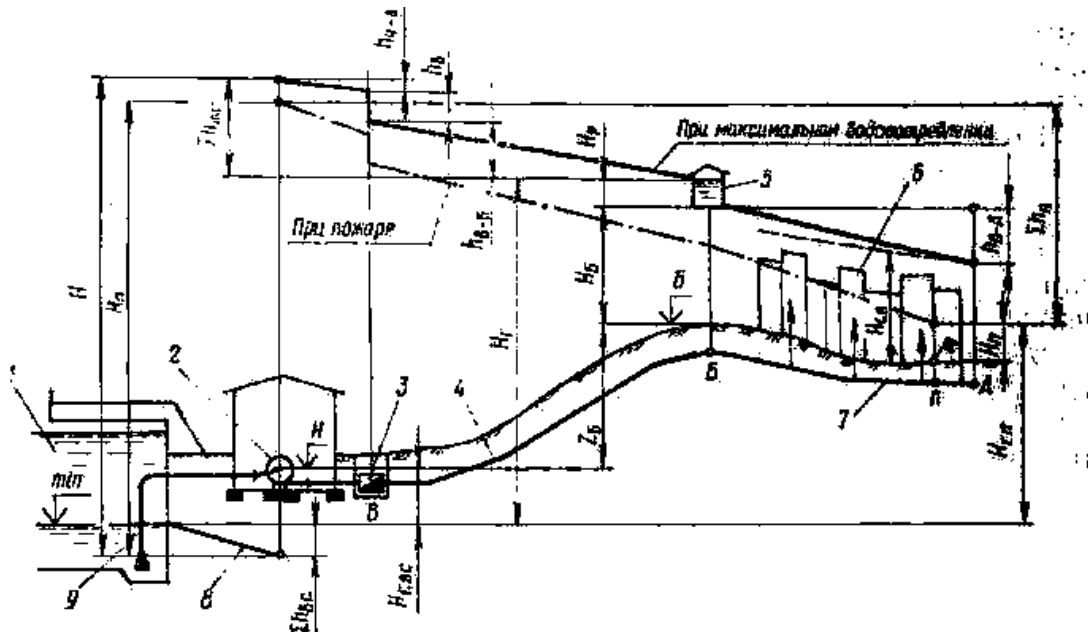


Рис. 21 - Схема висотного планування споруджень другого підйому з вежею на початку мережі: 1 - резервуар чистої води; 2 - насос; 3 - водомір; 4 - нагнітальний водовід; 5 - водонапірна вежа; 6 - споживач; 7 - водогінна мережа; 8 - п'єзометрична лінія на ділянці усмоктування; 9 - усмоктувальна труба

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 при цих режимах показані на схемі висотного планування (рис. 22).

Напір насосів у першому випадку буде визначатися виразом:

$$H = H_{\Gamma} + \Sigma h = H_{\Gamma, \text{yc}} + z_{\text{д}} + H_{\text{в}} + \Sigma h_y + \Sigma h_{\text{наг}}$$

де $z_{\text{д}}$ - різниця геодезичних позначок диктуючої точки і осі насоса, м;

$H_{\text{в}}$ - вільний господарський напір у диктуючій точці (визначають залежно від поверховості забудови), м.

У другому випадку напір насосів

При підборі насосного устаткування керуються наступними основними вимогами. Обрані насоси повинні: забезпечувати розрахункові напір і подачу; працювати в діапазоні максимального ККД; бути однотипними (бажано). Однак, якщо при різнотипних насосах спостерігається економічна робота станції, доцільно встановлювати різнотипні агрегати: вони повинні бути серійного виробництва; мати найбільший коефіцієнт швидкохідності, тому що при цьому зменшуються габарити насосів, а отже, і об'єм будівлі станції.

На станціях другого підйому резерв насосного устаткування приймається залежно від кількості основних насосів і категорії надійності за табл.1. Якщо на станції в одній групі агрегатів встановлені насоси з різними характеристиками, кількість резервних агрегатів приймають для насосів з більшою подачею (див. табл.1), а резервний насос з меншою подачею необхідно зберігати на складі.

Резервні насоси повинні бути такої ж марки, як і основні.

Противопожежні та спеціальні насоси станцій другого підйому. Насосні станції другого підйому повинні забезпечити 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 – приблизно 3 год. Напір протипожежних насосів залежить від типу протипожежних мереж. Останні за способом гасіння пожежі поділяються на мережі низького й високого тиску.

Протипожежна мережа низького тиску мусить забезпечувати в розрахункових точках гасіння пожежі необхідну протипожежну витрату води при напорі не менше 10 м. Такий напір приймається, щоб уникнути можливості утворення в мережі вакуумметричного тиску при підключенні до гідрантів мобільних пожежних насосів, які створюють напір для утворення струменів необхідної висоти.

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

так і напір для одержання з гідрантів струменів з компактною ділянкою висотою не менш 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 ($H_{г.п}$).

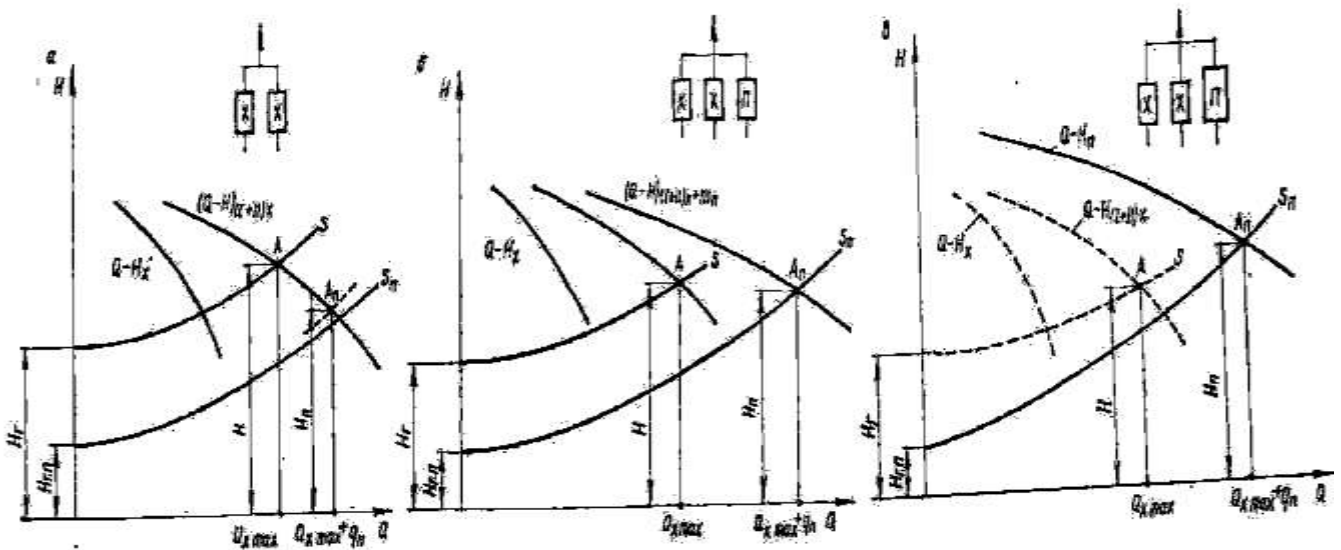


Рис. 23 - Характеристики спільної роботи насосної станції і мережі при гасінні пожежі: а – основними господарськими насосами; б - основними господарськими й додатковим пожежним насосами; в – спеціальним пожежним насосом

Необхідний напір $H_{п}$ визначають, додаючи до $H_{г.п}$ відповідну протипожежному режиму роботи втрат напору. Якщо протипожежний напір (при об'єднаній мережі господарсько-питного й протипожежного водо про- воду) нижчий або дорівнює господарському напору, то, з урахуванням можливості зниження при пожежі геометричної висоти підйому води, на підставі аналізу роботи господарських насосів при $H_{г.п}$ установлюють можливість забезпечення ними розрахункової витрати води (рис. 23,а). Якщо витрата води не забезпечується, підбирають додаткові пожежні насоси (один або кілька) з напором, що дорівнює господарському (рис. 23,б).

У тому випадку, коли протипожежний напір вищий від напору господарських насосів, необхідно встановлювати додатково окремий пожежний насос або групу насосів, що забезпечують протипожежний напір при протипожежних і максимальному господарському витратах води (рис. 23,в).

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

В окремих випадках у заглиблених і напівзаглиблених насосних станціях передбачають встановлення спеціальних насосів для відкачування води при можливих аваріях. Подачу таких насосів визначають із умови відкачування з машинної зали води при її шарі 0,5 м протягом 2 годин. При цьому передбачають один резервний агрегат.

Розміщення насосного устаткування на станціях другого підйому. Насосні станції другого підйому в більшості випадків виконуються прямокутними в плані і обладнуються горизонтальними насосами типу Д або К. Винятком є досить великі станції, на яких встановлюються насоси типу В. Тому в практиці проектування цих станцій в основному зустрічається наступне розміщення насосних агрегатів: однорядне, паралельне до поздовжньої осі споруди (рис. 24, а, б); однорядне, перпендикулярне до поздовжньої осі будинку (рис. 24, в); дворядне шахове (рис. 24, г); дворядне паралельне (рис. 24, д).

Вид розміщення визначається типом насосів, розташуванням насосної станції щодо резервуарів чистої води й інших споруд, зручністю компоновання усмоктувальних і нагнітальних трубопроводів з найменшим числом їхніх поворотів. При невеликому числі насосів типу Д (4—5) доцільно приймати однорядне їхнє розміщення, тому що при цьому ширина будівлі виходить найменшої. При відносно великому числі агрегатів (більше 5) приймається дворядне, шахове або симетричне розміщення насосів, що дозволяє скоротити довжину споруди. При використанні насосів консольного типу доцільніше

розміщати 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 при відносно великій їхній кількості, у випадку однобічного розміщення усмоктувальних і напірного колекторів (рис. 24, в).

При проектуванні насосних станцій другого підйому можуть зустрічатися й інші види розміщення агрегатів різних груп (дворядне, паралельне, поздовжнє або поперечне до осі будівлі; осі агрегатів можуть бути розміщені під кутом до поздовжньої осі будівлі; комбіноване).

У схемі вертикального планування споруд насоси потрібно розміщати під затокою від розрахункового рівня води в ємності: пожежного запасу на одну пожежу; середнього рівня пожежного запасу на дві й більше пожежі; середнього рівня при відсутності пожежного запасу (БНіП 2.04.02-84).

Якщо насоси розміщені не під затокою, необхідно передбачити систему заповнення насосів перед їхнім запуском.

Проектування усмоктувальних, напірних труб і схем їхніх перемикань на станціях другого підйому. Усмоктувальні та напірні труби станцій другого підйому виконують ті ж функції, що й на станціях першого підйому, і при проектуванні до них висувають такі ж вимоги. Основними вимогами до усмоктувальних труб, що забезпечують нормальний запуск і роботу насосів, є повна їх повітрянепроникність і виключення можливості утворення повітряних «мішків». Останнє досягається за рахунок монтажу усмоктувальної лінії таким чином, щоб верхня усмоктувальної труба по всій довжині мала ухил від насоса не менш $i=0,005$. При з'єднанні усмоктувальних труб різних діаметрів необхідно використовувати косі (ексцентричні) переходи.

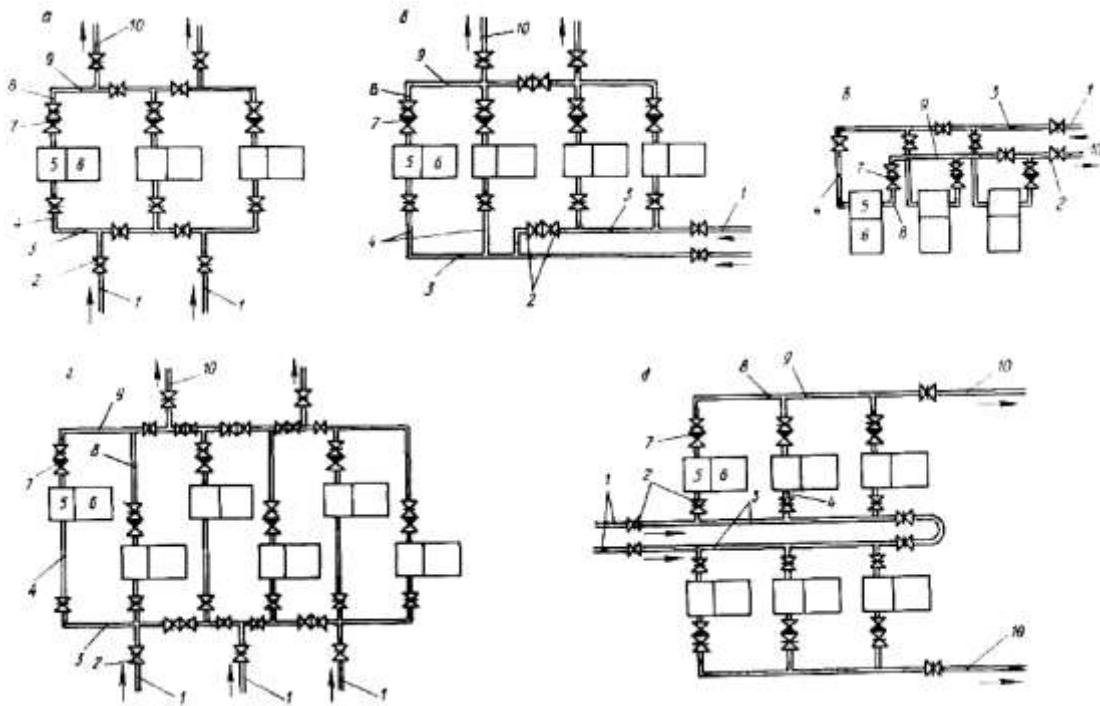


Рис. 24 - Схеми розміщення насосних агрегатів на станціях другого підйому і перемикання трубопроводів:

- а* – однорядне із фронтальним підведенням і відводом води; *б* – однорядне з бічним і фронтальним відводом води; *в* – однорядне з однібічним розташуванням усмоктувального й нагнітального колекторів;
- г* - дворядне шахове із фронтальним підведенням і відводом води;
- д* – дворядне симетричне з бічним підведенням і відводом 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.

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

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

де v_e — економічна швидкість, м/с.

Діаметри колекторів прирівнюють до діаметрів відповідних усмоктувальних і нагнітальних водоводів. Якщо до колекторів підключається відносно багато насосів, їх доцільно виконувати зі змінним діаметром, зменшуючи його до кінцевих ділянок.

Укладання усмоктувальних і напірних трубопроводів усередині станції робиться по підлозі на підставках із перехідними містками над ними. В окремих випадках при сприятливих гідрогеологічних умовах і якщо це не викликає значного подорожчання будівництва, допускається укладання труб у каналах. Габарити каналу встановлюються залежно від діаметра труб (табл. 4).

Таблиця. 4 - Розміри каналів під труб

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 встановлення арматури розміри каналу відповідно збільшуються. Іноді на станціях другого підйому для розміщення усмоктувальних і напірних трубопроводів великого діаметра (800 мм і більше) улаштовуються спеціальні підвальні приміщення.

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

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

На рис. 24 наведені схеми розміщення усмоктувальних і напірних трубопроводів на станціях другого підйому.

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

При проектуванні схем перемикання усмоктувальних і напірних трубопроводів, крім зазначених вище умов, необхідно керуватися наступними вимогами:

1) забезпечувати подачу води будь-яким насосом у будь-який трубопровід;

2) передбачати можливість швидкого оперування засувками при аварії; 3) забезпечувати вільний доступ до всіх засувок для їхнього огляду й ремонту.

На рис. 24 показані деякі схеми перемикань трубопроводів станцій другого підйому. При схемі *a* у випадку ремонту кожної із засувок забезпечується робота тільки одного агрегату. Використання схеми при ремонті будь-якої засувки забезпечує роботу двох насосів із чотирьох, у число яких входять і резервні насоси. Схема *д* при ремонті дозволяє забезпечити роботу трьох насосів, схема *г* - чотирьох насосів із шести. Мінімальну надійність забезпечує схема *в*; при ремонті правого агрегату й засувок на колекторах станцію необхідно зупиняти.

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

Будови наземних станцій являють собою спорудження промислово-цехового типу. Фундаменти будівель стрічкового типу виконують зі збірних залізобетонних елементів. Фундаменти під насоси роблять незалежними (вільними) монолітними. Споруди переважна бувають каркасного типу зі збірних залізобетонних конструкцій і рідше (при відповідному обґрунтуванні) цегляні. Прольоти будинку мають розміри 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 м при кроці колон 6, 12 м. Довжину без каркасних 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 і верхньої будови. Захисні конструкції підземної частини одночасно служать фундаментом для верхньої будови. Підземну частину виконують зі збірних залізобетонних блоків і рідше у вигляді монолітної конструкції. Позначку верху

підземної частини виводять над рівнем поверхні землі на 0,3...0,5 м. При довжині підземної частини до 9 м розміри в плані прямокутних споруд приймають кратними 1,5 м, а для великих насосних станцій 3 м. При наявності ґрунтових вод із зовнішнього боку захисної конструкції роблять гідроізоляцію. У тому випадку, якщо рівень ґрунтових вод вище підлоги машинної зали, фундамент підземної частини виконують у вигляді суцільної залізобетонної монолітної плити.

Розміри споруд у плані залежать від розмірів основного і допоміжного обладнання з урахуванням прийнятого компонування устаткування і трубних комунікацій. При цьому слід дотримуватися вимог БНіПа, що регламентує відстані між окремими елементами. Розміри арматур і всіх монтажних елементів наведені в довідковій літературі. При проектуванні плану насосної станції необхідно передбачати ремонтний майданчик, який розміщують на рівні поверхні землі в торці будови на підлозі машинної зали або на конструкціях балконного типу. Розміри ремонтного майданчику визначають із умов розміщення найбільшого з агрегатів при наявності вільного проходу біля нього з шириною не менше 1 м. Необхідно також урахувати максимальне наближення гака вантажопідйомного механізму. Підлогу машинної зали виконують із ухилом у бік колодязя для збору дренажних вод. Розміри верхньої будови споруд визначаються з умов експлуатації насосної станції; безпечного виробництва монтажних і ремонтних робіт з використанням передбачених на станції вантажопідйомних механізмів. Будівельна висота споруд визначається сумою розмірів частин будівлі, устаткування і механізмів, що забезпечують демонтаж установленого обладнання.

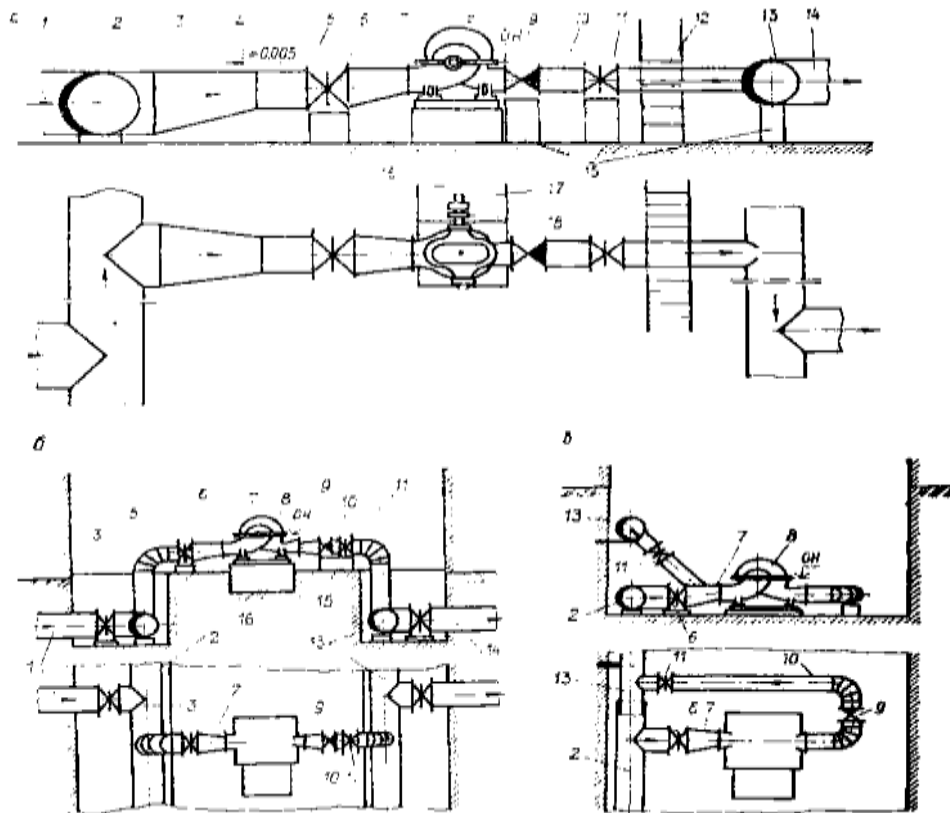


Рис. 24 - Схеми розміщення усмоктувальних і нагнітальних трубопроводів на станціях другого підйому:

а - заглибленого типу з усмоктувальним і напірним колекторами;

б - наземного типу; в - заглибленого типу з однібічним розташуванням колекторів; 1 - усмоктувальна труба; 2 - усмоктувальний колектор; 3 - зварне з'єднання; 4, 7 - косий (ексцентричний) перехід; 5 - фланцеве з'єднання; 6, 11 - засувки; 8 - насос; 9 - зворотний клапан; 10 - монтажна вставка знімна; 12 - перехідний місток; 13 - нагнітальний колектор; 14 - нагнітальний трубопровід; 15 - підставки; 16 - фундамент; 17 - вал електродвигуна; 18 - вал насоса

Рівень підлоги машинної зали 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 (рис. 24). Будівельну висоту верхньої наземної частини будинку (рис. 25) визначають за формулою:

$$H_{\text{буд}} = h + h_1 + h_2 + h_c + h_{\text{вант}} + h_6 + h_{\text{тр}}$$

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 транспортує; h_b - розмір, що залежить від типу будівлі, приймається конструктивно, але не може бути менш 0,5 м;

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

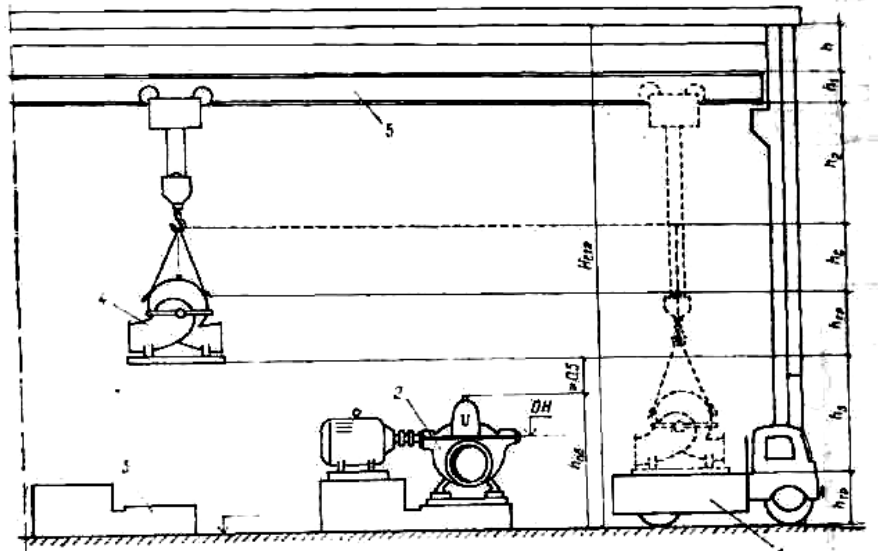


Рис. 25 - Схема до визначення висоти верхньої будови насосної станції:
1 - транспортний засіб; 2 - установлене обладнання; 3 - фундамент під монтаж агрегату; 4 - вантаж, що транспортується, 5 - підйомно-транспортний механізм

Визначений за формулою 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 будови й приміщень, не обладнаних стаціонарними підйомно-транспортними механізмами, має бути не менше 3 м.

Машинне приміщення мусить мати достатнє освітлення, для чого загальну площу віконних прорізів роблять не менш 12,5% площі підлоги. Розміри вікон: ширина 300 см при висоті кожної секції 120 або 180 см. У високих будинках вікна влаштовують у два ряди - вище й нижче підкранових балок. Ширина вікон у допоміжних приміщеннях може бути 90, 120, 150 см. У машинній залі необхідно передбачати ворота для завозу обладнання на монтажний майданчик. Розміри воріт залежать від максимальних габаритів устаткування й транспортних засобів, що доставляють це обладнання: 3x3 м;

3,6x3,6; 4x3; 4x4,2; 4,8x5,4; 4,7x5,6 м. Ворота мають бути утеплені. У машинній залі, так само як і в інших приміщеннях, передбачається необхідна кількість дверей наступних розмірів: висота 240 см при ширині 100, 150, 200 см.

У спорудах насосної станції, крім машинної зали, передбачається ряд допоміжних приміщень: майстерні, диспетчерська, адміністративні, лабораторії, трансформаторна підстанція й ін. Розміри цих приміщень визначають залежно від потужності насосної станції.

Тип споруди насосної станції остаточно вибирають на підставі порівняння показників техніко-економічних варіантів.

Приклади насосних станцій другого підйому. Водопровідна насосна станція другого підйому, показана на рис. 26, обладнана п'ятьма насосами марки К160/20 (трьома господарськими, двома протипожежними). Загальна її подача становить 360 м³/год. Вода до насосів, установленими під затокою, підводиться крізь загальний усмоктувальний колектор двома лініями діаметром 300 мм. Насоси подають воду в мережу через загальний напірний колектор по двох водоводах діаметром 250 мм. Машинна зала обладнана підвісним краном вантажопідйомністю 1 т.

Будівля станції - заглибленого типу. Підземна частина й фундаменти - зі збірних бетонних блоків, стіни верхньої будови – цегляні. Покриття - зі збірних залізобетонних плит, покрівля має чотири шари руберойду.

На станції передбачена система господарсько-питного водопостачання для власних потреб від напірного трубопроводу зі зниженням напору до 11 м. Стічні води від станції потрапляють в мережу каналізації або вигріб. Вентиляція – притоко-витяжна із природним і механічним спонуканням. Електропостачання забезпечується двома уведеннями напругою 6...10 кВ із її зниженням до 380/220 В.

На водопровідній насосній станції другого підйому, виконаної за індивідуальним проектом (рис. 26), зроблено однорядне розміщення двох груп насосів: чотири Д2000-100 - господарські й два Д12500-24 для промивання фільтрів очисної станції. Для заливання насосів перед запуском передбачена вакуумна система із двома насосами ВВН-12. Машинна зала обладнана мостовим електрифікованим краном вантажопідйомністю 10 т.

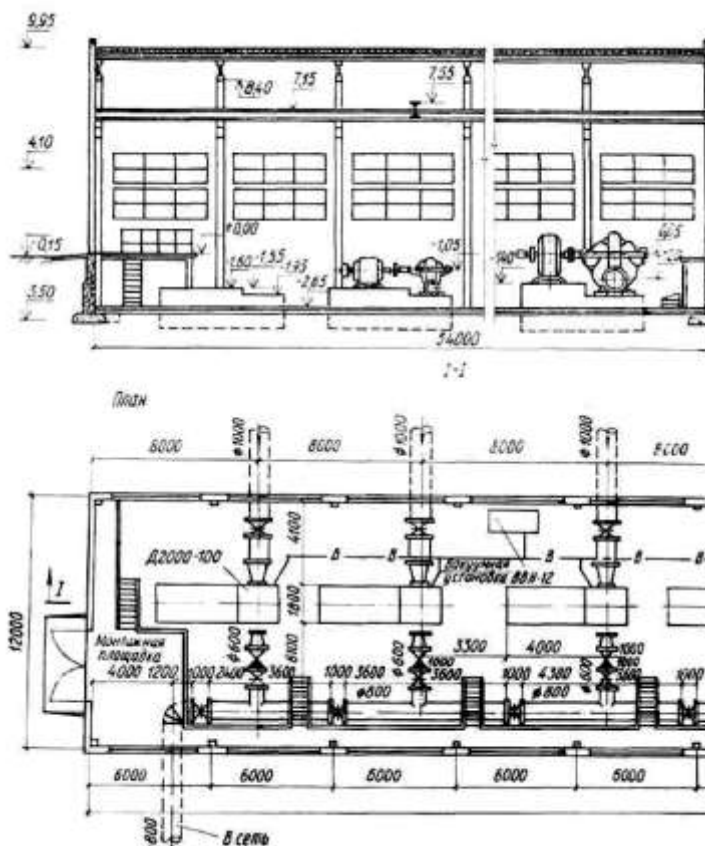


Рис. 26. Насосна станція другого підйому (індивідуальний проект)

Типова водопровідна насосна станція другого підйому, показана на рис. 27, обладнана чотирма насосами Д1250-65 з електродвигунами типу А114-4. Зроблено дворядне шахове розміщення агрегатів. Насоси встановлюються під затокою й пуск їх проводять при закритих засувках на напірній стороні. Кожен насос обладнаний індивідуальною усмоктувальною трубою. Напірні трубопроводи об'єднані загальним колектором. Станція призначена для господарсько-питного, протипожежного й виробничого водопостачання за I і II класами надійності роботи.

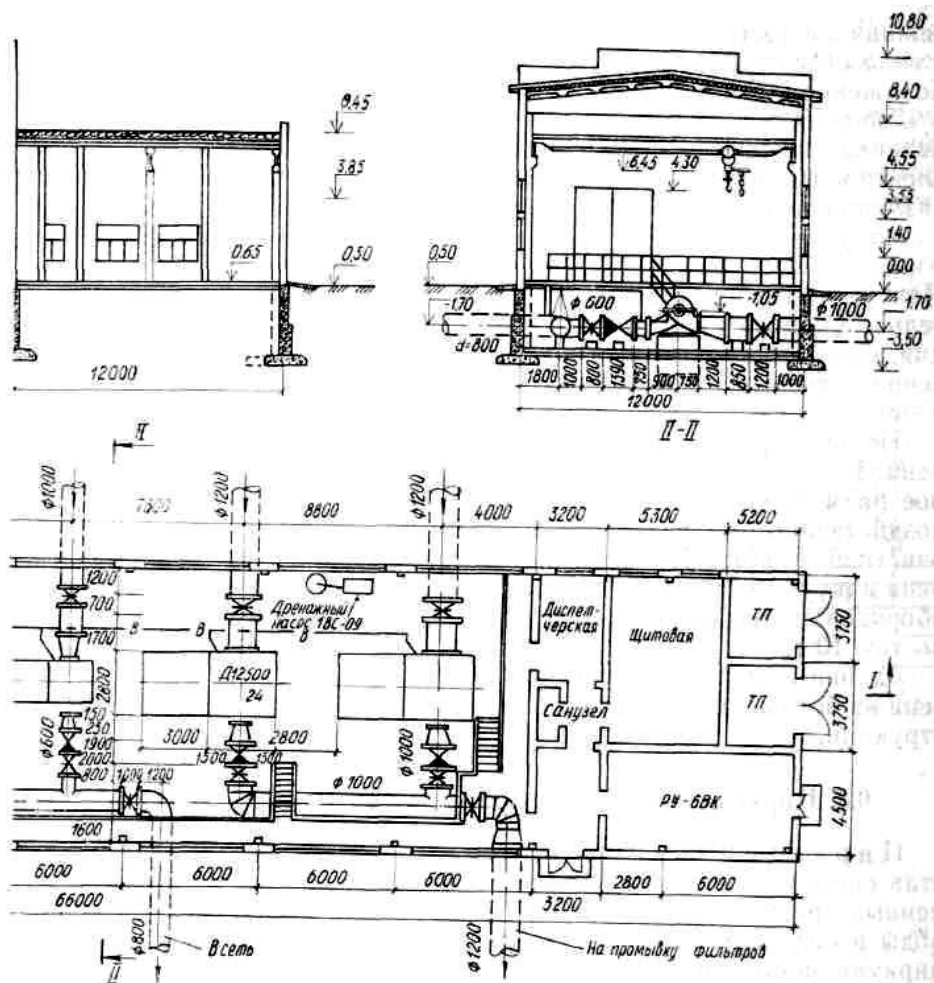


Рис. 27 - Типова водопровідна насосна станція другого підйому

Споруда станції - заглибленого типу, підземна частина виконана з бетонних плит, а верхня будова - збірно-каркасної конструкції. Схема і принцип дії відцентрових насосів. Основні параметри ЦБН. Класифікація.

Для вертикальних відцентрових насосів характерне однорядне розташування агрегатів уздовж поздовжньої осі будинку станції. При наявності на напірних трубопроводах великого числа арматури можна трохи зменшити ширину будинку за рахунок косою приєднання їх до збирного колектора або до зовнішніх напірних водоводів.

На рис. 27 показана потужна насосна станція, обладнана вертикальними насосами потужної подачі ($Q = 5 \text{ м}^3/\text{с}$), установленими у два ряди, що дозволяє зменшити довжину будинку станції; приєднання двох насосів до однієї усмоктувальної лінії значно спрощує схему внутрішньо-станційних

комунікацій і конструкцію водоприймача. Подібне рішення може виявитися економічно доцільним при великій кількості агрегатів.

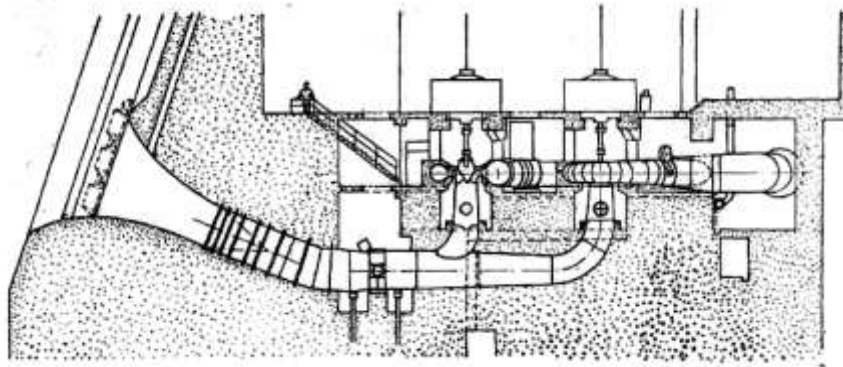


Рис. 28 - Насосна станція I підйому Кашмель-Жирба (Судан)

Через специфіку конструкції і великі розміри проточної частини осьових насосів їх встановлюють незалежно від розташування вала (горизонтального, похилого або вертикального), як правило, в один ряд уздовж фронту водозабору.

Круглі в плані машинні будівлі типові для заглиблених насосних станцій. На таких станціях, сполучених з водоприймачем, найбільш доцільним виявляється кільцеве розташування агрегатів. Особливості компоновки внутрішньостанційних комунікацій визначаються схемою підведення води до насосів (рис. 29): зсередини (схема *а*) або ззовні (схема *б*) споруди. При окремому розташуванні водозабору й будівлі станції насосні агрегати можуть бути розташовані в один або кілька рядів (схема *в*), уступом (схема *г*) або радіально (схема *д*).

При будь-якій схемі розташування насосних агрегатів у будівлі насосної станції потрібно забезпечувати повну їхню безпеку й зручність обслуговування, а також можливість монтажу і розбирання насосів та електродвигунів.

Прохід між агрегатами роблять не менше 1 м при встановлені електродвигунів з напругою до 1000 В і не менше 1,2 м при встановлені електродвигунів з вищою напругою. У всіх випадках відстань між нерухомими виступаючими частинами устаткування має бути не менш 0,7 м. Відстань від

довгих сторін фундаментних плит насосних агрегатів до стін - не менше 1 м. Насоси з нероз'ємним корпусом по горизонтальній площині, у яких вал з робочим колесом при демонтажі висувається назовні у напрямку осі насоса, варто встановлювати на відстані від стін або інших агрегатів не менш ніж довжина вала насоса плюс 0,25 м (але не менш 0,8 м). Таку ж відстань потрібно залишити й для зручності демонтажу електродвигунів з горизонтальним валом. Прохід між агрегатами і електророзподільним щитом не менше 2 м.

У будівлях насосних станцій, обладнаних невеликими насосами з електродвигунами напругою до 1000 В і діаметром напірного патрубку до 100 мм включно, допускається встановлення агрегатів безпосередньо біля стін, а також встановлення двох агрегатів на одному фундаменті без проходу між ними, але із проходом навколо них шириною не менш 0,7 м.

Деяке (до 25-30%) зменшення розмірів, що рекомендуються, допускається при розміщенні устаткування в заглиблених насосних станціях з машинними будівлями шахтного типу.

Допоміжні насоси (дренажні, осушувальні, вакуум-насоси) зазвичай розташовують у вільних місцях машинної зали таким чином, щоб це не викликало збільшення розмірів споруди. Для таких насосів прохід може бути залишений тільки з одного боку. Вакуум-насоси через їхні малі розміри й періодичність роботи можуть бути встановлені навіть на кронштейнах на стінах машинної зали.

Щити і пульти керування насосними агрегатами і засувками розташовують, як правило, на балконах або на площадках уздовж стін.

Розміри машинної будівлі станції в плані визначаються після вибору схеми розташування насосних агрегатів і компоновання внутрішньостанційних трубопроводів з урахуванням відстаней, що рекомендуються, між стінами будівель і елементами устаткування. Так, ширина машинної будівлі являє собою суму довжин ділянок трубопроводів, фасонних частин і арматури на усмоктувальній та напірній лініях насоса, а також поперечного розміру самого насоса.

Довжина прямокутної машинної будівлі визначається проходами між торцевими стінами й агрегатами, поздовжнім розміром самих агрегатів і відстанями між ними.

При визначенні розмірів машинної будівлі насосної станції, обладнаної вертикальними насосами, не слід забувати, що над насосним приміщенням розташовано зал електродвигунів, розміри якого визначаються габаритами двигунів і відстанню між ними, розташуванням люків у підлозі зали, розміщенням електроустаткування й габаритами крана. Тому лінійні розміри підземної частини необхідно узгоджувати з лінійними розмірами верхнього приміщення.

У будівлях насосних станцій, обладнаних великими насосними агрегатами, потрібно передбачати місце для так званої монтажної майданчика, на якійому ремонтують насоси й електродвигуни. Монтажний майданчик зазвичай влаштовують у торці будинку на рівні поверхні землі. Розміри майданчика в 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 й транспортних засобів, що розташовані на монтажному майданчику, потрібно залишити прохід не менш 0,7 м шириною.

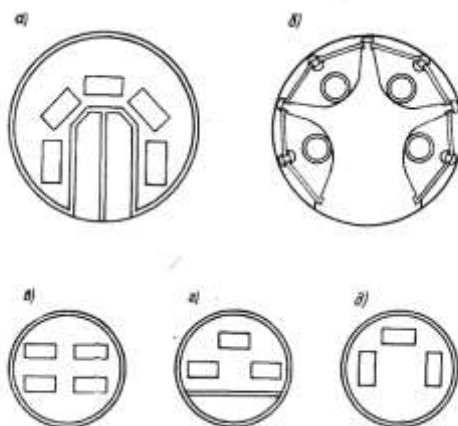


Рис. 29. Розташування насосних агрегатів у круглих машинних будівлях

Висота машинної будівлі насосної станції являє собою суму висот підземної частини й верхньої будови.

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

Загалом (рис. 30) можна визначити за формулою:

$$h_{п.ч} \geq h_{ф} + h_{нас} \pm H_{с.прип} + \Delta НБ + h_{зан},$$

де $h_{ф}$ — товщина фундаментної плити, обумовлена статичним розрахунком (звичайно 0,8—1,5м);

$h_{нас}$ — висота насоса від верху фундаментної плити до осі робочого колеса;

$H_{с.прип}$ — припустима геометрична висота усмоктування (знак плюс приймається при установці насоса з підпором);

$\Delta НБ$ — максимальна амплітуда коливань рівнів води в джерелі (водоприймальній камері);

$h_{зан}$ — необхідне перевищення позначки підлоги верхньої будови над максимальним рівнем води в джерелі або у водоприймальній камері.

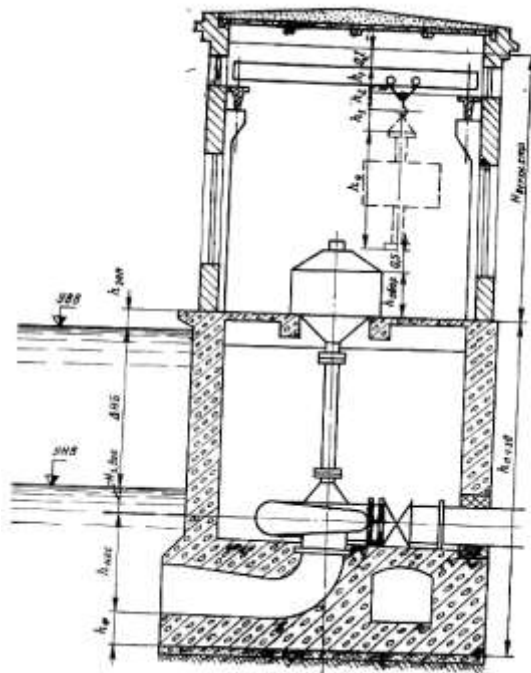


Рис. 30 - До визначення висоти будівлі насосної станції

Варто сказати, що потужні приводні електродвигуни вертикальних насосів серій В, О і ОП для запобігання їхнього затоплення при аваріях завжди встановлюються вище максимального рівня води в джерелі або у водоприймальній камері. Це обставина найчастіше призводить до необхідності спорудження підводної частини машинної будівлі великої висоти.

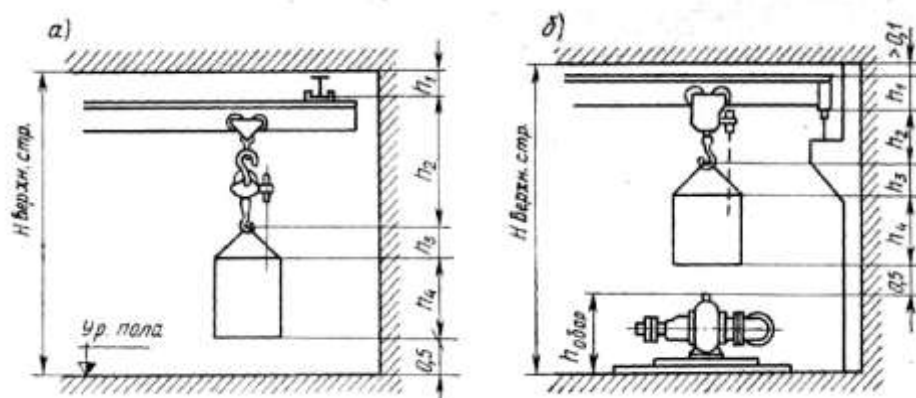


Рис. 31 - Визначення висоти верхньої частини будівель насосних станцій

Висота верхньої будови, не обладнаної піднімальними механізмами, у будинках насосних станцій незаглибленого типу має бути не менше 3 м. У будинках станцій, обладнаних стаціонарними вантажопідйомними механізмами, висоту верхньої будови визначають розрахунком. Приміщення, обладнане підвісною кран-балкою (рис. 31 ,а), мусить мати висоту:

$$H_{\text{верхн.буд}} \geq h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + 0,5,$$

де h_1 — висота монорейки кран-балки з урахуванням конструкції кріплення його до перекриття;

h_2 — мінімальна висота від гака до низу монорейки;

h_3 — висота стропування вантажу (що дорівнює 0,5—1 м);

h_4 — висота вантажу;

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

Якщо при транспортуванні вантажу на монтажний майданчик його необхідно проносити над установленим обладнанням (рис. 31 ,б), то у формулі використовують додатково висоту цього обладнання $h_{\text{облад.}}$.

Верхня будова насосної станції, обладнана мостовим краном (рис. 31), мусить мати висоту:

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

де h_1 — висота крана над головою підкранової рейки;

h_2 — мінімальна висота від гака крана до головки рейки;

0,1 - мінімальна відстань по висоті від низу перекриття до верху балки або вантажного візка крана. Інші позначення ті ж, що й раніше.

Якщо вантаж (насос, електродвигун і т.д.) доставляється безпосередньо на монтажний майданчик насосної станції, то для можливості його навантаження і вивантаження висота верхньої будови, підрахована за формулами потрібно бути збільшена на висоту $h_{\text{трансп}}$ від підлоги до вантажної платформи.

Остаточні розміри машинної будівлі насосної станції як у плані, так і по висоті встановлюються техніко-економічними розрахунками й обов'язково узгоджуються з уніфікованими розмірами конструкцій виробничих приміщень, передбаченими БНіП.

ЗМ 1.2. Класифікація насосних станцій водопостачання

Основні питання

1. Класифікація насосних станцій водопостачання. Техніко-економічний розрахунок параметрів водопровідної насосної станції.
2. Розрахунок діаметра підрізки робочого колеса ЦБН
3. Перерахунок характеристик ЦБН на новий діаметр робочого колеса.
4. Визначення режимної точки роботи насоса. Зміна режиму при зміні рівня води у джерелі і резервуарі.
5. Порівняння економічних засобів регулювання витрати. Рівнобіжне і послідовне включення насосів.
6. Робота насоса на розгалужену мережу: у два резервуари на одній і різних висотах встановлення.
7. Розрахунок характеристик опору при позитивній, негативній, нульовій висоті підйому.

Лопатеві насоси

Консольні насоси типу К (КМ) (рис. 32, 33)

Позначення

ДЕРЖСТАНДАРТ 22 247-76

Приклад: К20/30 або КМ20/30

К - консольний;

КМ- консольно-моноблочний з електродвигуном;

20 - подача, м³/год;

30-напір, м.

ДЕРЖСТАНДАРТ 8337-57

2К-6

2 - діаметр вхідного патрубку, мм, зменшений в 25 разів й округлений ($d_y^{ex} = 50$ мм);

К - консольний;

6 - коефіцієнт швидкохідності, зменшений в 10 разів й округлений ($n_s = 60$)

Призначення: для води й чистих нейтральних рідин із $pH = 6,5-8$ й $t = 0 - 85$ °С (за заявкою - до 105 °С).

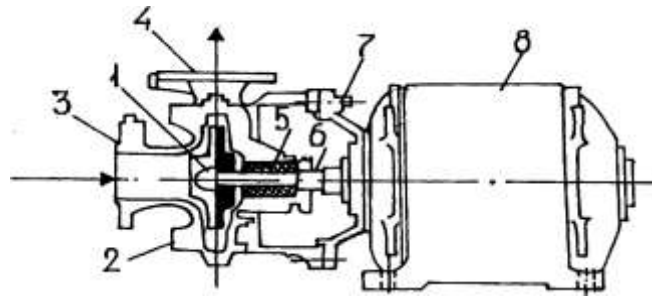


Рис. 32 - Відцентровий моноблочний насос типу КМ

1 - робоче колесо з лопатками; 2 - корпус насоса; 3 - усмоктувальний патрубок; 4 - напірний патрубок; 5 - сальникове ущільнення; 6 - вал насоса й електродвигуна; 7 фланець корпусу електродвигуна; 8 - електродвигун

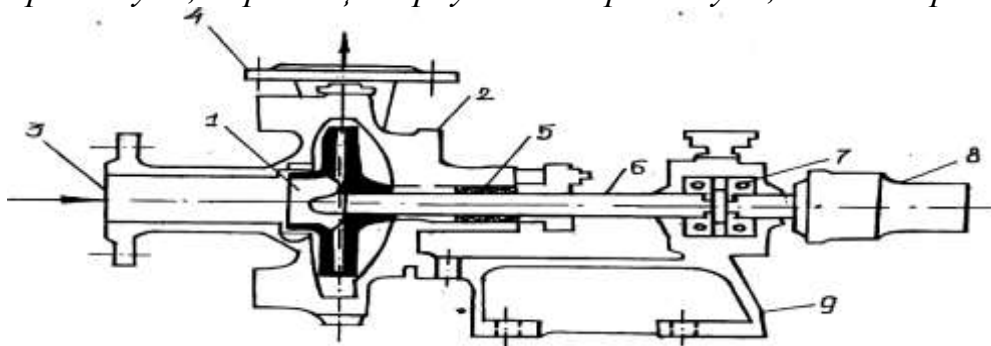


Рис. 33 - Відцентровий консольний насос типу К

1 - робоче колесо з лопатками; 2 - корпус насоса; 3 - усмоктувальний патрубок; 4 - напірний патрубок; 5 - сальникове ущільнення; 6 - вал; 7 - підшипник; 8 - муфта; 9 - опорна станина

Загальні характеристики насосів типу К:

$$Q = 5-360 \text{ м}^3/\text{Год} (1,4-100 \text{ л/с});$$

$$H = 10 - 90 \text{ м (тиск } 0,1-0,9 \text{ МПа)};$$

$$\text{КПД} = 50-84\%;$$

$$h_{\text{вак}}^{\text{прп}} = 4 - 5,5 \text{ м};$$

$$n_s = 60-250;$$

напір на вході - не більше 20 м.

Область застосування:

- у водопостачанні (міському й промисловому);
- як циркуляційні насоси в системах гарячого водопостачання та опалення.

Насоси двостороннього входу типу Д (рис. 34)

Позначення	
<p>ДЕРЖСТАНДАРТ 10 272-77</p> <p>Приклад: Д 200-95</p> <p>Д - двостороннього входу;</p> <p>200 - подача, м³/год;</p> <p>95 - напір, м.</p>	<p>ДЕРЖСТАНДАРТ 10 272-73</p> <p>4НД_В; 10Д-6; 4 - у насосів НД_В діаметр напірного патрубку, мм, зменшений в 25 разів ($d_y''=100$ мм); НД - насос двосторонній; Н - низько-, 3 - середньо-, в - високонапірний.</p>

У насосів Д: 10 - діаметр вхідного патрубку, зменшений в 25 разів ($d_y^{ex}=250$ мм); 6 - коефіцієнт швидкохідності, зменшений в 10 разів ($n_s=60$)

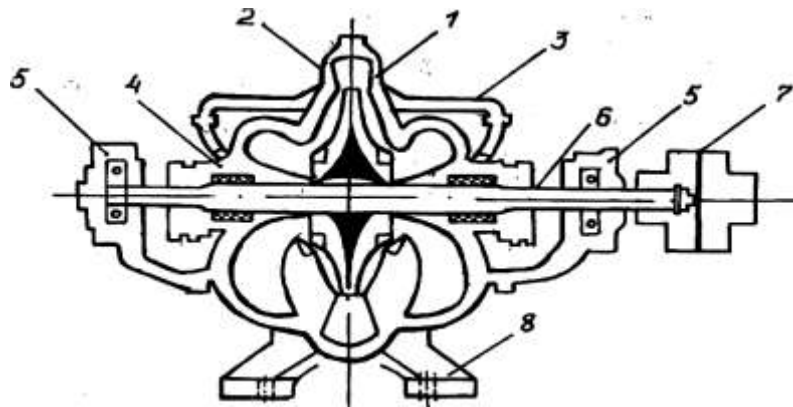


Рис. 34 - Відцентровий насос двостороннього Входу типу Д
 1- робоче колесо; 2 - корпус насоса; 3 - трубка підведення води для гідроуцілювання сальників; 4 - сальникове уцілювання; 5 - підшипники; 6 - вал; 7 - муфта, 8 - опорна станина

Призначення: для води й чистих рідин з t до 85 - 100 °С. Загальні характеристики насосів типу Д:

$$Q = 100 - 12500 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$H = 14 - 125 \text{ м}; \quad \text{КПД} = 73 - 88 \%; \quad h_{\text{вак}}^{\text{прим}} = 3 - 7,5 \text{ м}.$$

Область застосування:

- у системах водопостачання (на НС I та НС II);
- у меліорації;
- в іригації.

Вертикальні насоси типу В (рис. 35)

Позначення	
<p>ДЕРЖСТАНДАРТ 19740-74 Приклад: 600В - 1,6/100 600 – умовний прохід напірного патрубку, мм; В - вертикальний; 1,6 - подача, м³/с; 100 - напір, м.</p>	<p>ДЕРЖСТАНДАРТ 4241-62 28В-12 28 - діаметр вхідного патрубку, зменшений в 25 разів ($d_y^{ex} = 700$ мм); В - вертикальний; 12 - коефіцієнт швидкохідності, зменшений в 10 разів й округлений ($n_s = 120$).</p>

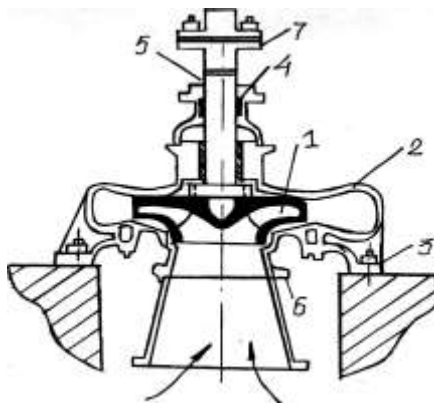


Рис. 35 - Відцентровий насос типу В

1 - робоче колесо з лопатками; 2 - корпус насоса; 3 - опорні лабетти; 4 - сальникове ущільнення; 5 - вал; 6 - вхідний патрубок; 7 - фланець

Призначення: для води й чистих рідин з $t = 35$ °С. Загальні

характеристики насосів типу В:

$$Q=1,6-25 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$H= 25 -100 \text{ м};$$

$$h_{\text{еак}} =10-\Delta h \text{ (кавітаційний запас } \Delta h=8-12 \text{ м)}.$$

Область застосування:

- у системах водопостачання на заглиблених НС І;
- на насосних станціях зрошувальних і судноплавних каналів.

Багатоступінчасті відцентрові насоси типу ЦНС (ЦНСГ) (рис. 36)

Позначення	
<p>ДЕРЖСТАНДАРТ 10 407-83 ЦНСГ38-44 Ц - відцентровий; Н - насос; С - секційний; Г- для гарячої води; 38-подача, м³/год; 44- напір, м.</p>	<p>ДЕРЖСТАНДАРТ 10407-70 ЦНС (ЦНСГ) Те ж</p>

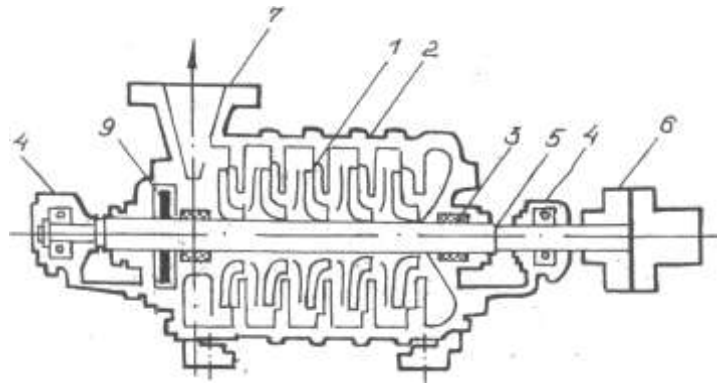


Рис. 36 - Відцентровий багатоступінчастий насос типу ЦНС
 1 - робочі колеса з лопатками; 2 - корпус; 3 - сальникове ущільнення; 4 - підшипники; 5 - вал; 6 - муфта; 7 - напірний патрубок; 8 - опорна станина;
 9 - диск розвантаження

Призначення: для чистої води з $t^\circ=60-105^\circ\text{C}$.

Загальні характеристики насосів типу ЦНС (ЦНСГ):

число коліс - від 2 до 10 (бувають нормальні й високообертні)

<p>Нормальні: $Q=8-850 \text{ м}^3/\text{год}$; $H= 40-144\text{Ом}$; ККД=67-71 %; $h_{\text{вак}}^{\text{прп}} =4-7 \text{ м}$</p>	<p>Високообертні: $Q=38-1000\text{м}^3/\text{год}$; $H=136-2000\text{м}$; ККД=72-80%; підпір: 2-6 м .</p>
--	---

Область застосування:

- відкачування води із шахт;
- у високонапірних системах пожежогасіння;
- у висотних будинках й ін.

Свердловинні насоси (рис. 37)

- а) із трансмісійним валом;
- б) заглибні.

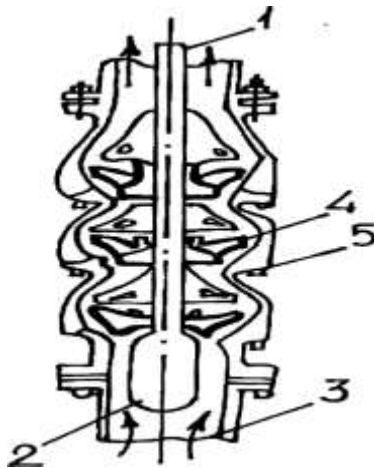


Рис. 37 - Свердловинний насос

1 - вал; 2 - обтічник; 3 - усмоктувальна труба; 4 - робоче колесо;
5 - корпус насоса

Насоси із трансмісійним валом (НА, А, АТН, ВП)

Позначення: ДЕРЖСТАНДАРТ 14835-69

АТН-8-1-22

- А - артезіанський;
- Т - турбінний;
- Н - насос;
- 8 - діаметр обсадної труби для установки насоса, зменшений в 25 разів ($d_{обс} = 200$ мм);
- I - тип робочого колеса (I - закритого типу);
- 22 - число робочих коліс.

Загальні характеристики насосів із трансмісійним валом:

- глибина води не більше 125 м;
- $Q=30-1200$ м³/год;
- $H= 3-125$ м;
- ККД=40-60%.

ВП - свердловинні пропелерні для води з піском (до 1000 мг/л)

- $Q=240-280$ м³/год;
- $H=4-24$ м.

Заглиблені насоси (ЕЦВ; АПТ, АП, АПВ, АПВМ, АЕНП, ЕНП (заміняють ЕВВ))

Позначення: ДЕРЖСТАНДАРТ 10 428-79 (-71)

ЕВВ 8-25-300

- *E* - електричний;
- *B* - відцентровий;
- *B* - для води;
- 8 - діаметр обсадної труби, зменшений в 25 разів ($d_{обс}=200$ мм);
- 25-подача, м³/год;
- 300-напір, м.

Загальні характеристики заглиблених насосів:

- для свердловин $d = 100-500$ мм;
- $Q = 0,63-1200$ м³/год;
- $H = 12-680$ м;
- мінералізація до 1500 мг/л;
- $pH = 6,5-9,5$; t° до 25°C.

Область застосування: для підйому води із трубчастих колодязів. ГНОМ:

- *G*-грязьовий;
- *H* - насос;
- *O* - осушувальний;
- *M*-моноблочний;
- $Q-14-60$ м³/год;
- $H=10-20$ м;
- вода з піском до 10 % по вазі.

Вісьові насоси (рис. 38)

ОВ - осьові вертикальні насоси з жорстко закріпленими лопатнями робочого колеса відкритого типу; *ОПВ* - осьові вертикальні насоси з ручним приводом повороту лопатнів робочого колеса.

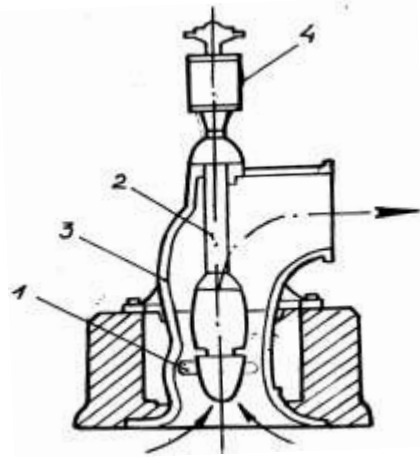


Рис. 38 - Вісьовий насос типу ОП
1 - лопатні; 2 - вал; 3 - корпус; 4 – привод

Позначення: ДЕРЖСТАНДАРТ 9366-80

ОПВ-2

- О - осьовий;
- П - поворотний;
- В - вертикальний;
- 2 - модифікація насоса;
- 110 - діаметр робочого колеса, см;
- ЕГ - привод розвороту лопатнів (ЕГ - з електрогідроприводом).

О та ОП за ДСТ 9366-71

- Г - з горизонтальним валом
- В - з вертикальним валом;
- К - з камерним підведенням;
- МК - малогабаритні з камерним підведенням;
- МБК - моноблочні з камерним підведенням;
- Е - з електроприводом розвороту лопат;
- ЕГ - з електрогідроприводом розвороту лопатнів;
- МВ - малогабаритні з електрогідроприводом розвороту лопатнів;
- КЕ - з камерним підведенням й електрогідроприводом розвороту лопатнів;
- МКЕ - малогабаритні з камерним підведенням і з електрогідроприводом розвороту лопатнів.

Призначення: для води з t° до 35°C и суспензій до 3000 мг/л (утворених до 2 %).

Основні характеристики насосів типів 0В и ОПВ:

➤ $Q = 0,5-40\text{м}^3/\text{с};$

➤ $H = 2,5 - 23 \text{ м};$

➤ ККД=84-86%.

Область застосування:

➤ на теплових електростанціях як циркуляційні насоси;

➤ у шлюзах;

➤ в іригаційних системах;

➤ на НСІ систем водопостачання;

➤ на каналізаційних станціях.

Водокільцеві вакуумні насоси (рис. 40)

ВВН - водокільцеві вакуум-насоси;

ВК - водокільцевий компресор (повітродувка);

ДВК - водокільцевий вакуум-насос подвійної дії.

Основні характеристики:

➤ $Q=6,6 - 450 \text{ л/с } (0,4-27 \text{ м}^3/\text{хв});$

➤ $H=3-22\text{м};$

➤ Напір перед усмоктувальним патрубком - 10м;

➤ Максимальний вакуум - 80 - 97 % .

Область застосування:

➤ для створення вакууму в основних насосах при заливанні їх перед пуском;

➤ як повітродувки в технологічному циклі очищення води.

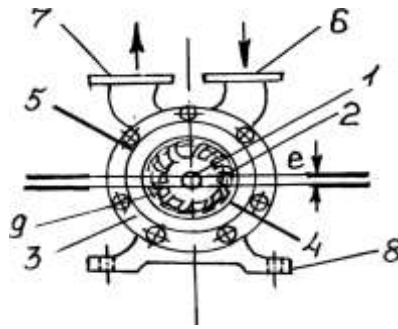


Рис. 39 - Водокільцевий вакуум-насос типу ВВН

*1 - вал; 2 - робоче колесо; 3 - корпус насоса; 4 - усмоктувальне вікно;
5 - водяне кільце; 6 - усмоктувальний патрубков; 7 - напірний патрубков;
8 - опорна станина; 9 - нагнітальне вікно*

Компонування насосних станцій

Після вибору за розрахунковими параметрами Q і H основного устаткування (насосів і двигунів) виконують компонування будівлі насосної станції.

Компонування станції, склад елементів й їхній тип багато в чому визначаються видом джерела водопостачання.

До складу елементів насосних станцій I підйому при заборі води з поверхневих джерел (річки, водоймища) входять:

- водозабірна споруда;
- проміжні елементи від водозабору до водоприймальної споруди;
- водоприймальна споруда;
- усмоктувальні труби;
- основне (насоси, двигуни), механічне й допоміжне устаткування станції;
- напірні трубопроводи.

Конструктивне рішення станції визначається розміщенням водозабору стосовно джерела (береговий або русловий водозабір) і до самої станції (сполучений або роздільний тип споруди).

До складу елементів водозаборів насосних станцій при узятті підземної води входять елементи:

- водоприймальні споруди (свердловини, колодязі, горизонтальні водозбори й т.д.);
- свердловинні насоси;
- напірні трубопроводи.

До складу елементів насосних станцій II підйому входять:

- 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 й рівнем води в ньому.

Наземні будинки станцій застосовуються при заборі води з поверхневих джерел з невеликими коливаннями рівня води, насоси встановлюються з позитивною висотою усмоктування. Будівлі проектуються прямокутними в плані.

Заглиблені станції влаштовують при заборі 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 будови; підземна частина станції зазвичай кругла в плані, верхня будова прямокутної форми.

Глибина підземної частини заглиблених станцій визначається розташуванням насосів щодо рівня води в джерелі (резервуарі) - висотою усмоктування насосів або висотою підпори. Будівлі станцій проектуються таким чином, щоб насоси розташовувалися "під затокою" щодо рівня низьких вод у джерелі. У заглиблених насосних станціях I підйому при встановленні насосів "під затокою" величина заглиблення станції

$$h_{\text{загл}} = Z_{\text{ЗНС}} - Z_{\text{нмз}}$$

де $Z_{знс}$ - позначка поверхні землі насосної станції, м;

$Z_{пмз}$ - позначка підлоги машинної зали станції, м.

Позначка підлоги машинної зали, $Z_{пмз}$ м, визначається за формулою:

$$Z_{пмз} = Z_{рнв} - h_{нас} - h_{рами} - h_{фунд} - h_n - 0,5$$

де $Z_{рнв}$ - позначка рівня низьких вод у джерелі, м;

$h_{нас}$ - висота насоса (з каталогу), 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 машинної зали ($h_n = 0,4$ м);

0,5 - запас на зниження рівня води в джерелі, м.

При русловому водозаборі й великій довжині самопливних труб необхідно при обчисленні $Z_{пмз}$ урахувати зниження рівня води у водоприймальній камері (стосовно $Z_{рнв}$) за рахунок втрат напору в самопливних трубах ($h_{всам.тр}$).

Насосні станції II підйому залежно від висотної схеми РЧВ можуть бути наземними або частково заглибленими.

При проектуванні НС II важко досягти того, щоб насоси перебували "під затокою" у широкому діапазоні рівнів води в РЧВ. Так, при максимальному рівні води в РЧВ насоси, як правило, працюють "під затокою", а при мінімальному рівні - з позитивною висотою усмоктування

При змінному рівні води в резервуарі (РЧВ) необхідно забезпечити припустиму висоту усмоктування насосів $h_{усм}^{прим}$ і передбачити:

- засувки на усмоктувальних лініях насосів;
- заливання насосів перед їхнім пуском (за допомогою вакуум-насосів або ежекторів).

Позначка рівня підлоги машинної зали станції $Z_{пмз}$ (м) (рис. 40):

$$Z_{пмз} = Z_{знс} - h_n$$

де $Z_{знс}$ - позначка поверхні землі у насосної станції, м;

h_n - розташування рівня підлоги машинної зали відносно поверхні землі в станції $Z_{знс}$, м;

$$h_n = h_{он} + E + T + H_{\phi},$$

де $h_{он} = Z_{знс} - Z_{п.мз}$ - розташування осі насоса, м;

$Z_{он}$ - позначка осі насоса, м;

E - відстань від осі до рами, визначають за каталогом для даного насоса, м;

T - висота рами під насосом, приймається конструктивно; $T=0,2$ м;

H_{ϕ} - висота фундаменту над рівнем підлоги машинної зали, м. $H_{\phi}=0,5$ м.

Позначка осі насосів НС II Z (м) визначається за формулою:

$$Z_{он} = Z_{рчв}^{мін} + h_{усм}^{прп}$$

де $Z_{рчв}^{мін}$ - позначка мінімального рівня води в РЧВ, м;

$h_{усм}^{прп}$ - припустима висота усмоктування насоса, м.

Висота усмоктування насоса $h_{усм}^{прп}$ (м) з коректуванням $h_{вак}^{прп}$ на місцеві значення P_a , $t^{\circ}\text{C}$ розраховується за формулами першого розділу.

Висота верхньої будови станцій, не обладнаних піднімальними механізмами, приймається не менше 3 м.

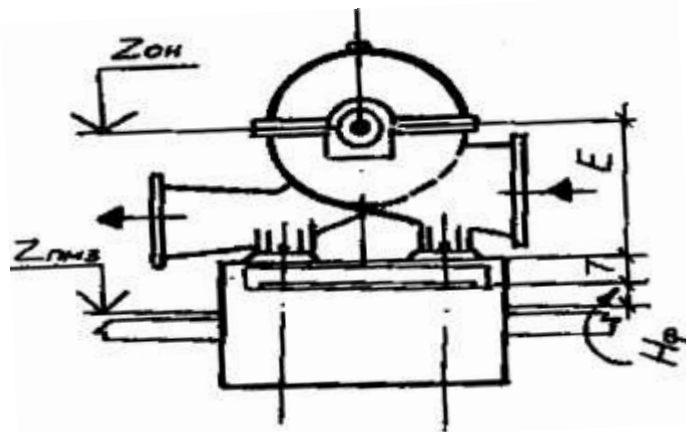


Рис. 40 – Визначання висоти всмоктування

Висота приміщення станції з підвісною кран-балкою (рис. 41)

$$H_{в. стр} \geq h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + 0,5$$

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 (мал. 42)

$$H_{в. стр} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + 0,5 + h_{об} + 0,1$$

де h_1 - висота над головою підкранової рейки, м;

h_2 - висота від гака до головки рейки, м;

h_3 - висота стропування, м;

h_4 - висота вантажу, м;

0,1 - відстань від низу перекриття до верху балки, м.

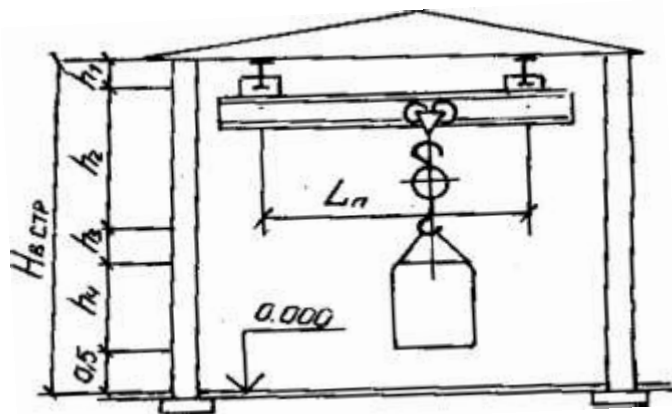


Рис. 41 - Приміщення станції з підвісною кран-балкою

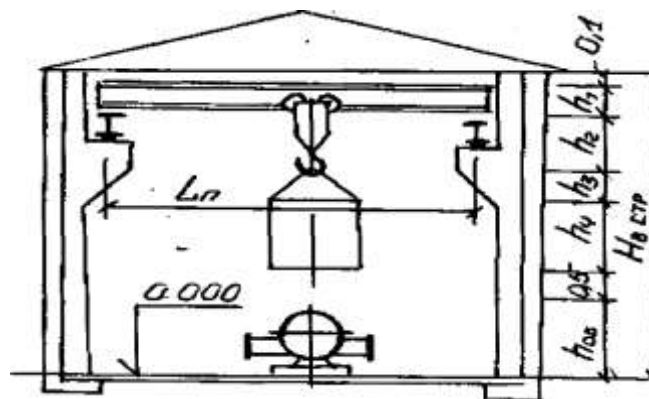


Рис. 42 - Приміщення станції з мостовим краном

Розташування насосних агрегатів і внутрішньостанційних трубопроводів у будинку насосної станції визначається типом, розмірами й числом основного й допоміжного устаткування, а також формою будівлі в плані. Так, наприклад, розташування агрегатів з відцентровими насосами з горизонтальним валом у будинках прямокутної форми може бути виконане за однією зі схем:

- однорядне, паралельно до поздовжньої осі будинку;

- однорядне, перпендикулярно до поздовжньої осі будинку;
- однорядне, під кутом до поздовжньої осі будинку;
- дворядне;
- дворядне в шаховому порядку й т.д.

Як приклад, на рис. 43 показане розташування насосних агрегатів у будівлі насосної станції - дворядне в шаховому порядку.

Одним із критеріїв розташування агрегатів у спорудах насосних станцій є гарантування безпеки обслуговування й зручності монтажу (демонтажу). Компонування агрегатів має бути таким, щоб був вільний доступ до кожного агрегату з усіх боків.

Проходи й відстані між агрегатами повинні бути:

- між агрегатами - не менш 1,0 м;
- між агрегатами й стіною приміщення - не менш $0,7 \div 1,0$ м;
- між фундаментами й розподільним щитом - не менш 2,0 м;
- між нерухомими виступаючими частинами устаткування - не менш 0,7 м.
- Розрахунок діаметра підрізки робочого колеса ЦБН
- У системах водопостачання й каналізації як основне устаткування насосних станцій застосовують лопатеві насоси і електродвигуни, переважно асинхронного і синхронного типу. Група лопатевих насосів містить у собі: відцентрові, діагональні, осьові (пропелерні). Вибір того або іншого типу насоса визначається призначенням насосної станції і її місцем у системі, режимом роботи, основними розрахунковими параметрами та іншими вимогами.

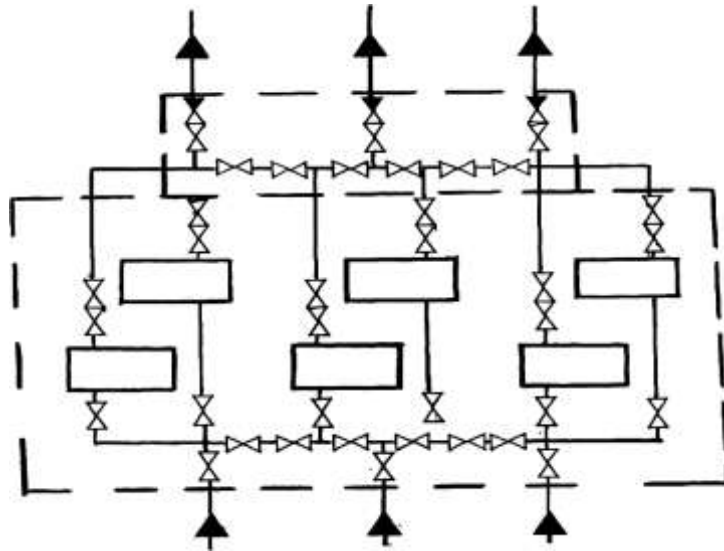


Рис. 43 - Розташування насосних агрегатів у будівлі насосної станції

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

Характеристики відцентрових насосів - графічний зв'язок між:

- напором і продуктивністю ($H-Q$);
- потужністю і продуктивністю ($N-Q$);
- ККД і продуктивністю ($\eta-Q$);
- припустимою висотою усмоктування і продуктивністю ($h_{\text{вак}}^{\text{прим}} - Q$);

при постійному числі обертів робочого колеса ($n-\text{const}$).

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

Характеристики відцентрових насосів одержують шляхом стендових випробувань гідромашини, узяті з серії, що випускає дане підприємство. Дослідження роблять на стенді, схема якого показана на рис. 44.

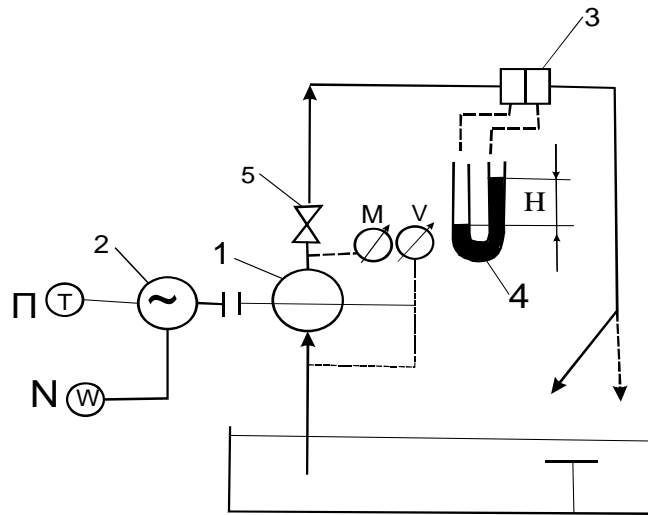


Рис. 44 – Схема стендових випробувань гідромашини

Мета випробування - одержати значення основних параметрів шляхом безпосередніх вимірів на робочій насосній установці.

До складу циркуляційної установки входять: насос 1, електродвигун 2, система труб (усмоктувальних і напірних), контрольно-вимірювальні прилади (вакуумметр - V, манометр - M, звужуючий пристрій для виміру витрати води (діафрагма) 3, дифманометр 4, дросель 5, прилади виміру крутного моменту і числа обертів n (або потужності на валу двигуна).

При випробуванні визначають: продуктивність (Q), тиск (напір H), потужність (N) і число обертів вала гідромашини (n). Змінюючи режим роботи насоса дроселюванням визначають: витрату Q , тиск (p), що створює насос, крутний момент (M) на валу, число обертів (n) вала, температуру (t) рідини, що перекачується, об'ємна вага (γ).

Відповідні значення, отримані шляхом вимірювання при стендових випробуваннях насоса, наносять на графіки і через отримані експериментальні точки проводять усереднені плавні криві $H-Q$, $N-Q$, $\eta - Q$, $\Delta h_{прин} - Q$.

Доцільно розміщувати ці криві на полі одного графіка в координатах: вісь абсцис - продуктивність Q , м³/год, л/с; вісь ординат - чотири параметри: напір H , м; потужність N , кВт; ККД, η , %; припустима вакуумметрична висота (або припустимий кавітаційний запас), $\Delta h_{прин}$, м (рис. 45).

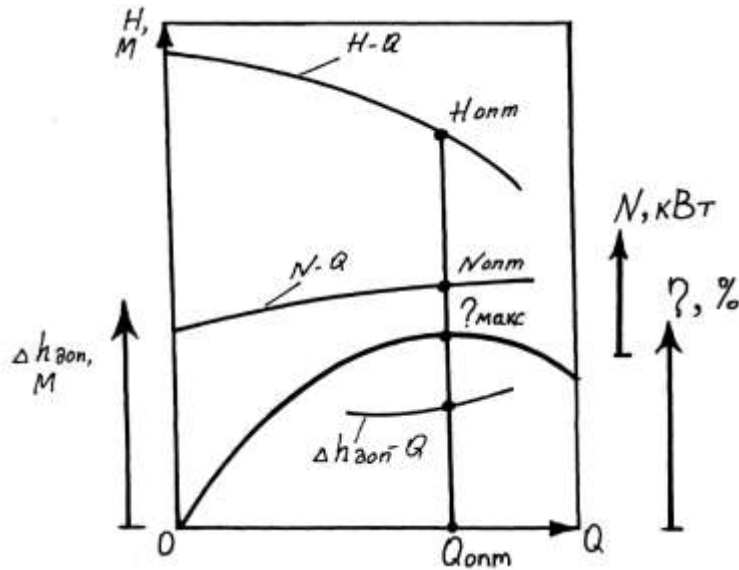


Рис. 45 – Графік характеристики роботи насосу

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

$H-Q$ - головна характеристика насоса;

$N-Q$ і $\eta-Q$ - енергетичні характеристики.

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

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

Графік характеристик дозволяє знати оптимальні значення $Q_{опт}$, $H_{опт}$, $\Delta h_{прп\ опт}$, які відповідають максимальному ККД ($\eta_{макс}$) даного насоса (рис. 45).

Основні елементи системи ПРВ - насосні станції і водогінні мережі, комунікації. Узгоджена робота насосів і трубопроводів забезпечує розрахунковий режим систем. Характеристики насосів і трубопроводів взаємозалежні як функціонально, так і технологічно.

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

При квадратичному законі опору ($v > 1,2 \text{ м/с}$) втрати напору за довжиною за рахунок тертя h , визначають за формулою:

$$h = SQ^2$$

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

S - опір трубопроводу; $S = Al$; (для даного трубопроводу $S=\text{const}$).

l - довжина трубопроводу, м ;

A - питомий опір трубопроводу даного діаметра; визначається у таблицях як функція $A=f(d)$ матеріалу труб

На полі графіка (вісь абсцис - Q ; вісь ординат - h) відкладають отримані значення h , Q , по точках яких проводиться усереднена параболічна лінія, що спрямована у бік Q з вершиною на початку координат - характеристика трубопроводу.

Трубопроводи бувають із послідовним і паралельним з'єднанням окремих ділянок. Для кожного з таких трубопроводів може бути отримана сумарна характеристика.

На рис. 46 показаний графік побудови сумарної характеристики трубопроводу з послідовним з'єднанням труб у складі 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) одержують шляхом графічного додавання ординат (напорів) кривих h_1-Q ; h_2-Q ; h_3-Q при однакових абсцисах (витратах).

За допомогою графіків $h-Q$ можливо одержати значення втрат напору на кожній ділянці h ; h_2 , h_3 і сумарні втрати h_w при заданій величині витрати води в системі Q .

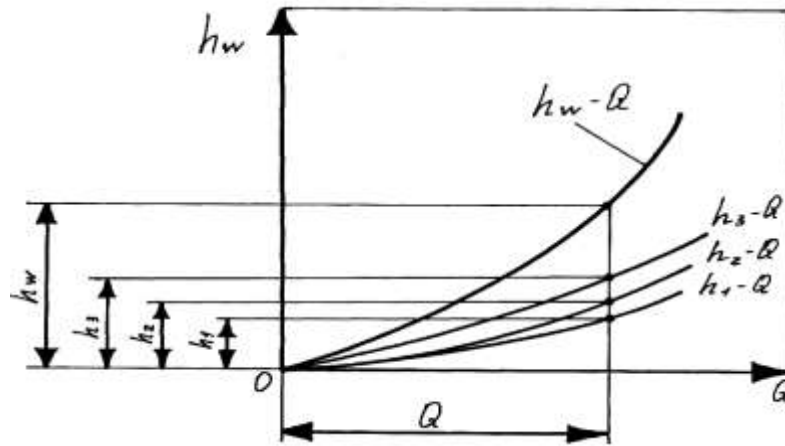


Рис. 46 - Графік побудови сумарної характеристики трубопроводу з послідовним з'єднанням труб

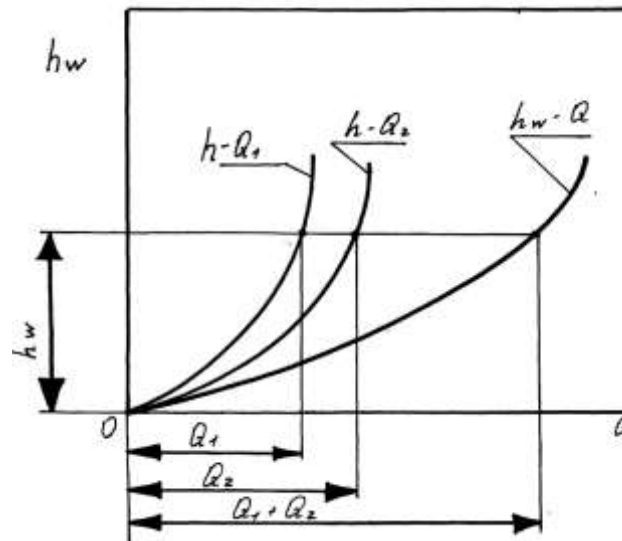


Рис. 47 - Графік $h-Q$ побудови характеристик сумарної характеристики для трубопроводу з паралельним з'єднанням труб

На рис. 47 показаний 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 одержують графічним додаванням абсцис (витрат) при однакових ординатах (напорах).

Графік дозволяє при заданій для системи величині витрат напорі h_w визначити як сумарну витрату всієї системи Q_1+Q_2 , так і витрати на окремих ділянках Q_1 і Q_2 .

При проектуванні насосних станцій вивчається розрахунковий режим роботи станції, вид рідини, що перекачується, інші особливості системи й вибирається тип лопатевого насоса (К, Д, АТН, Ф, ОП, СМ та ін.).

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 нестиснутої рідини дотримуються рівняння гідравліки:

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

$$Q_{нас} = Q_{тр};$$

- рівняння збереження (балансу) енергії потоку:

$$H_{нас} = H_{тр};$$

Таким чином, вибір марки насоса потрібно робити одночасно з розрахунком трубопроводів системи.

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

За основу при побудові характеристики трубопроводу ($H-Q_{мп}$) використовують рівняння:

$$H = H_z \sum h_w$$

або для квадратичного закону опору

$$H = H_z + SQ^2$$

де H_z - геометрична висота підйому рідини, м; H_z - const (для даної системи);

$\sum h_w$ - сума втрат напору у трубопроводах, м;

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 визначають напір H . Отримані значення Q і H відкладають на поле графіка $H-Q$. З'єднуючи точки плавною параболічною лінією, одержують характеристику трубопроводу $H-Q_{тр}$.

Сполучивши на полі графіка $H-Q$ дві характеристики (насоса й трубопроводу) у точці їхнього перетину одержують робочу (режимну) точку системи P , координати якої: розрахункова подача Q_p і розрахунковий напір H_p . Точка P визначає режим роботи насоса на даний трубопровід (рис.48).

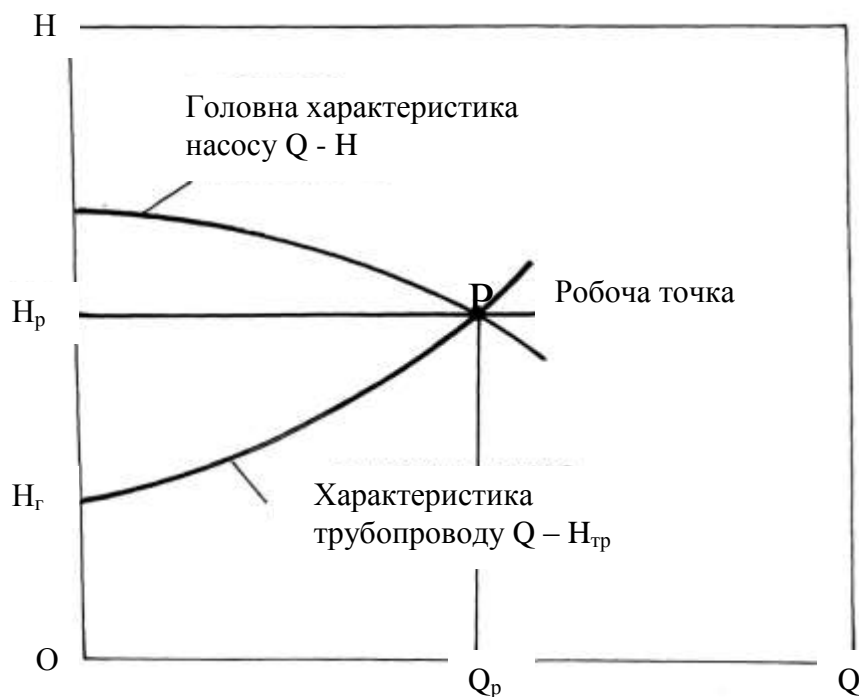


Рис. 49 - Характеристики $H-Q$ насоса й трубопроводу

Вибір марки насоса даного 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 , як правило, на зведеному графіку розташована нижче найближчої головної характеристики насоса певної марки (у випадку, коли робоча точка розташована вище характеристики насоса, насос не забезпечує розрахунковий напір), тобто при даній розрахунковій 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.

Оптимальна робота насосної станції

Як заходи по оптимізації роботи насоса (зниження надлишкових напорів $H_{\text{надл}}$) застосовують:

- зміна числа обертів робочого колеса;
- обрізку робочого колеса.

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

$$H = \psi \frac{u_2^2}{2g}$$

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

u_2 - окружна швидкість зовнішньої окружності робочого колеса, м/с;

$$u_2 = \omega R_2;$$

R_2 - радіус зовнішньої окружності колеса; $R_2 = 0,5D_2$;

D_2 - діаметр зовнішньої окружності колеса;

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

n - число обертів робочого колеса, об/хв;

$$u_2 = \frac{2\pi n}{60} \frac{D_2}{2} = \frac{\pi n D_2}{60}$$

Напір насоса:

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

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

Зміна числа обертів робочого колеса

Напір насоса H прямо пропорційний числу обертів робочого колеса n . Змінюючи число обертів n , змінюють напір насоса H .

Нехай при підборі марки насоса розрахункова точка системи на полі графіка $H-Q$ займає положення P , з координатами Q_p і H_p (рис. 49)

Необхідно розрахувати й побудувати таку параболу.

За заданими параметрами Q_p і H_p визначається коефіцієнт:

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

Довільно задаючись декількома значеннями Q_i (близько 10) за формулою визначають H_i

Побудована на графіку $H-Q$ за знайденими точками $(Q_i; H_i)$ парабола подібних режимів $O-P-A$ проходить через точку P и перетинає головну характеристику насоса ($H-Q$) у точці A с координатами Q_a і H_a .

Парабола $O-P-A$ - геометричне місце точок, подібних між собою. Точки P и A подібні. Із закону пропорційності визначається нове число обертів n' по одній з формул:

$$n' = n \frac{Q_p}{Q_a} \text{ або } n' = n \sqrt{\frac{H_p}{H_a}}$$

Зниження частоти обертання (числа обертів) робочого колеса насоса може здійснюватися або шляхом агрегування з електродвигуном знижених чисел обертів або використанням інших типів двигунів, здатних змінювати число обертів.

Режим роботи насоса зі зниженою частотою обертання колеса допускається, але підвищення числа обертів більш ніж на 15% має бути узгоджене із заводом-виготовлювачем.

Агрегуючи насоси з електродвигунами інших чисел обертів, іноді виникає необхідність одержання нових характеристик ($H' - Q$; $N' - Q$; $\eta' - Q$). Такі характеристики одержують розрахунком, не вдаючись до стендових випробувань.

Методика перерахування характеристик з n на n' проста. При довільно обраних значеннях Q (близько 10) за паспортними характеристиками насоса ($n - const$) установлюють значення H, N, η . Нові значення (при n') Q', H', N', η' визначають за формулами:

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

При незначній зміні числа обертів зміну ККД не враховують ($\eta = \eta'$), але через зсув ординат Q' крива $\eta - Q'$ на полі графіка переміщується вліво. За даними формул будують нові характеристики $H' - Q'$; $N' - Q'$; $\eta' - Q'$ при n' (рис. 50) - пунктирні лінії

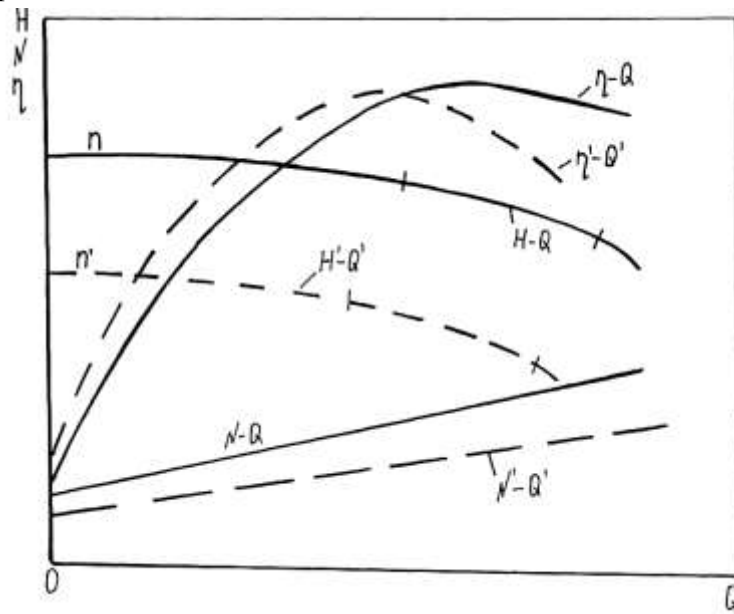


Рис. 50 - Характеристики $H-Q$ насоса при зміні числа обертів робочого колеса
Зрізка робочого колеса

Напір насоса прямо пропорційний діаметру зовнішнього окружності робочого колеса D_2 (далі $D_2 = D$). Зниження напору насоса може бути виконане підрізуванням робочого колеса на токарському верстаті, з діаметра D (номінальний) до D_{cp} .

При підборі марки насоса робоча точка $P (Q_p; H_p)$ розташована на графіку H, Q нижче головної характеристики $H-Q$ (номінальний діаметр) (рис. 51).

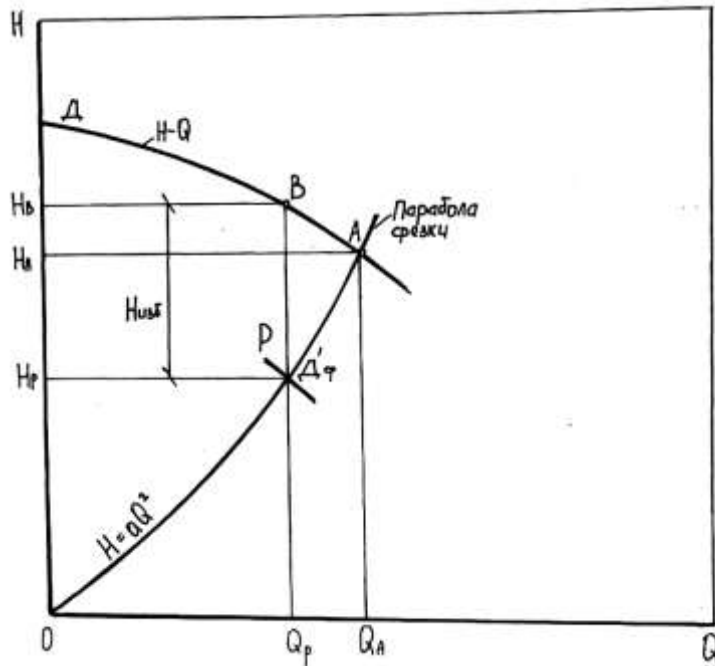


Рис. 51- Характеристики $H-Q$ насоса й трубопроводу з розташуванням робочої точки P нижче головної характеристики

При Q_p надлишковий напір: $H_{надл} = H_b - H_p$. Виключити $H_{надл}$ можливо зміною діаметра колеса, зрізавши його з D до $D_{зр}$. Методика визначення діаметра $D_{зр}$, при якому напір H_p і подача насоса Q_p збалансовані, має свої особливості. Робоче колесо, номінальне і підтяте - не подібні; обрізка колеса спотворює співвідношення робочих параметрів - закон подібності не виконується.

Співвідношення параметрів при зрізці колеса визначені експериментально залежно від величини коефіцієнта n_s .

Для швидкохідних насосів ($n_s > 150$):

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

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

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

$$\frac{Q}{Q_{зр}} = \frac{D}{D_{зр}};$$

$$\frac{H}{H_{zp}} = \left(\frac{D}{D_{zp}} \right)^2$$

Розглянемо методику визначення D_{zp} для насосів цієї групи:

$$\left(\frac{Q}{Q_{zp}} \right)^2 = \frac{H}{H_{zp}}; H = \frac{H_{zp}}{Q_{zp}^2} Q^2; \frac{H_{zp}}{Q_{zp}^2} = a - const$$

$$H = aQ^2$$

Рівняння називають рівнянням параболи зрізки - квадратична парабола з вершиною на початку координат. Необхідно розрахувати й побудувати параболу зрізки. За заданими розрахунковими параметрами H_p та Q_p

визначається коефіцієнт $a = \frac{H_p}{Q_p^2} - const$. Задаючи довільно декілька значень Q_i

визначають H_i . За знайденими точками $(Q_i - H_i)$ будується парабола зрізки $O-P-A$, 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 розташовані на квадратичній параболі, підпорядковані експериментальній залежності.

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

$$D_{zp} = D \frac{Q_p}{Q_a}$$

$$D_{zp} = D \sqrt{\frac{H_p}{H_a}}$$

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

$$\frac{D - D_{zp}}{D} 100$$

Межі припустимої зрізки колеса у відсотках:

при $n_s = 60 - 120$	20-15%
при $n_s = 120 - 200$	15-11%
при $n_s = 200 - 300$	11-7%

Нові характеристики насоса (при D^{zp}) можуть бути отримані шляхом розрахунків. При довільно взятих значеннях Q по паспортних характеристиками насоса (D) встановлюють H , N , η . Нові значення параметрів (при D_2^{zp}) визначають за формулами (для $n_s < 150$):

$$Q' = Q \frac{D_{zp}}{D} \qquad H' = H \left(\frac{D_{zp}}{D} \right)^2$$

$$N' = N \left(\frac{D_{zp}}{D} \right)^3 \qquad \eta_{zp} = 1 - (1 - \eta_a) \left(\frac{D}{D_{zp}} \right)^{0.25}$$

Характеристики насоса (паспортні при номінальному діаметрі робочого колеса D - суцільна лінія) і характеристики для D^{zp} (пунктирна лінія) наведена на рис. 52.

Розширення області застосування насосів

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

Технологічний процес з перекачування рідини в деяких випадках є стабільним, постійним у часі, коли продуктивність, напір, інші параметри оптимальні, а ККД $\eta_{макс}$. Відхилення η від його максимального значення ($\eta_{макс}$) може бути настільки великим, що робота насоса економічно недоцільна. Відхилення ККД від $\eta_{макс}$ регламентовані. Допускається робота насоса при відхиленні ККД на 7-10% максимального значення - $\eta_{мін} = 0,9\eta_{макс}$.

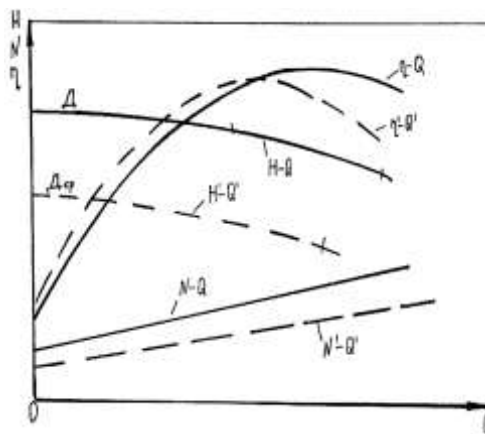


Рис. 52 - Характеристика $H-Q$ насоса (паспортні при номінальному діаметрі робочого колеса D - суцільна лінія) і характеристики для D^{zp} (пунктирна лінія)

На графіку характеристик насоса може бути виділена область, яку називають робочим полем характеристик, із припустимими значеннями ККД. Мінімальне значення ККД η_{\min} , припустиме при роботі даного насоса, визначає ділянку ab головної характеристики $H-Q$, для всіх точок якого $\eta > \eta_{\min}$. Параболи oa і ob обмежують робоче поле насоса; насос може експлуатуватися в діапазоні продуктивності $Q' - Q''$. У паспорті насоса цю ділянку головної характеристики виділяють граничними рисками.

Розширення області застосування насосів можливо також іншими способами:

- зміною числа обертів робочого колеса;
- зрізкою робочого колеса.

На рис. 53 показаний графік характеристик насоса при кількості обертів робочого колеса від n_{\min} до n_{\max} .

Ізолініями (параболами подібних режимів) мінімальних ККД (Oda й $OСВ$) виділяється площа $aBCd$, що являє собою робоче поле характеристик, для всіх точок якого $\eta \geq \eta_{\min}$.

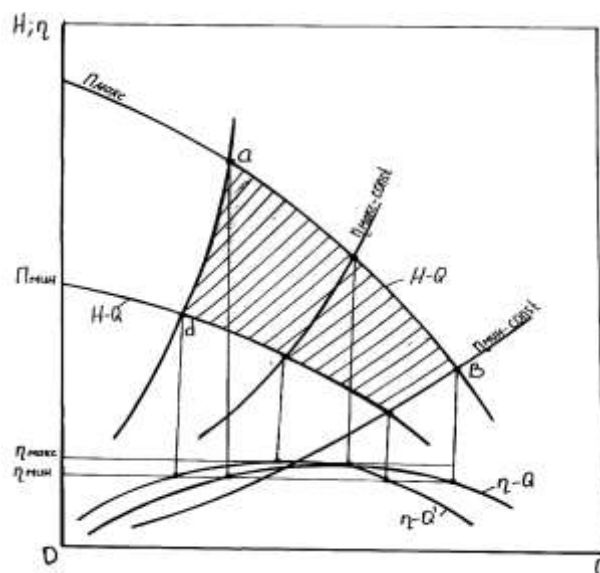


Рис. 53 - Графік характеристик насоса при кількості обертів робочого колеса від n_{\min} до n_{\max}

На рис. 54 показаний графік характеристик насоса при зрізці робочого колеса з D_2 до D_2' (головні характеристики відповідно $H-Q$ і $H'-Q'$ при $n - const$).

Параболами зрізки при η_{\min} виділяється ділянка $abcd$, що є робочим полем характеристик при $\eta > \eta_{\min}$.

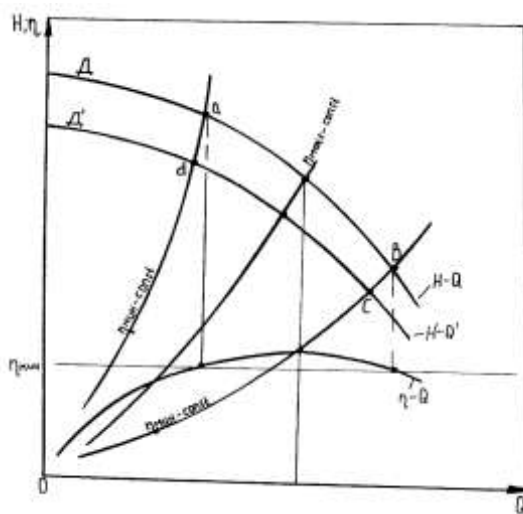


Рис. 54 - Графік характеристик насоса при зрізці робочого колеса з D_2 до D_2'
(головні характеристики відповідно $H-Q$ і $H'-Q'$ при $n - const$)

У паспорті насоса наведені характеристики, що відповідають припустимій зрізці.

Обрізка робочих коліс істотно розширює область застосування насосів за продуктивністю й напором.

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

Відсоток підрізування визначається коефіцієнтами швидкохідності n_s .

У каталогах насосів наведені зведені графіки робочих полів головних характеристик при $n - const$ з урахуванням максимально припустимого підрізування робочого колеса.

Модуль 2 Насосні і повітродувні станції

ЗМ 2.1. Конструкція ЦБН одноколісних і двоколісних

1. Конструкція вертикальних ЦБН. Конструкція каналізаційних ЦБН і насосів агресивних рідин.
2. Конструкції ЦБН одноколісних із двостороннім входом, багатокілісних.
3. Визначення числа продуктивності та потужності насоса і електродвигуна до нього. Розрахунки на ЕОМ основних параметрів.
4. Побудова характеристики спільної роботи насосів на задану систему
5. Допоміжне устаткування насосної станції.
6. Трасування усмоктувальних і напірних трубопроводів. Вимоги до будівельної частини. Особливості проектування насосної станції I підйому
7. Схема і класифікація каналізаційних станцій.
8. Графіки припливу і відкачки стічних вод. Резервне устаткування . Об'єм прийомного резервуара.

Каналізаційні насосні станції класифікуються за наступними ознаками: - за надійністю дії на три категорії: не допускають перерв або зниження розрахункової подачі стічних вод; перерву подачі стічних вод не більше 6 год., перерву подачі стічних вод не більше 1 доб.

- за розташуванням в загальній системі водовідведення станції діляться на *головні*, які розміщують на головних колекторах систем водовідведення для перекачування з них стічних вод на очисні споруди; *районні*, які перекачують стічні води в головний або неподалік розташований колектор із частини території, яку каналізують (району); *мережеві*, розташовані безпосередньо на колекторі, заглиблення якого перевищує припустимі за СНіПом норми, і призначені для підйому стічних вод у лежачого нижче самопливного колектора у лежачий вище; *місцеві*, що перекачують стічні води від окремих об'єктів (будинку, споруди, підприємства і т.д.);

- за видом стічної рідини, що перекачується, станції поділяють на чотири групи: для господарсько-побутових стоків (входять до складу загальної системи водовідведення міста, селища й т.д.); для виробничих стоків (входять до складу

систем водовідведення промислових стоків); для ливнівок (входять до складу систем водовідведення атмосферних опадів); для перекачування мулів (входять до складу очисних споруд);

- за характером керування станції поділяються на автоматичні (керовані за допомогою приладів і засобів автоматизації) і з ручним керуванням (включення і вимикання агрегатів робиться обслуговуючим персоналом);

- за конструкцією каналізаційні насосні станції найчастіше бувають заглибленого й шахтного типу, сполучені із прийомним резервуаром або роздільні.

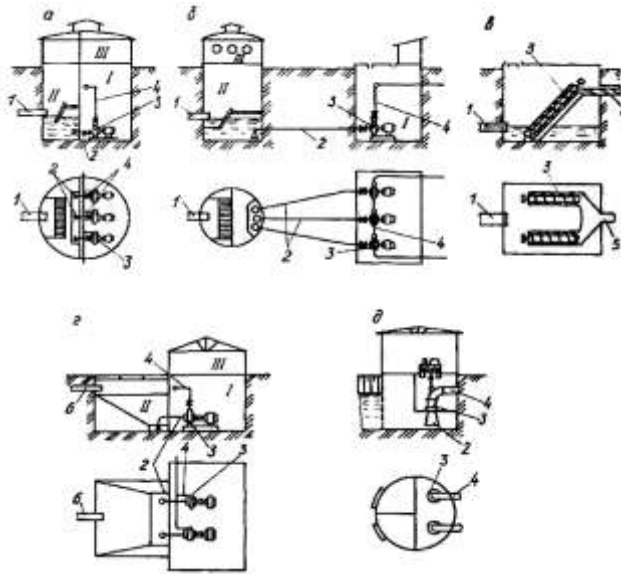


Рис. 55 - Схеми каналізаційних насосних станцій:

*I - машинне відділення; II - прийомний резервуар; III - верхня будова;
1 - колектор, що підводить; 2 - усмоктувальна труба; 3 - насос; 4 - напірний трубопровід; 5 - колектор, що відводить; 6 - мулопровід від відстійників*

На рис. 55 показані схеми сполученої (а) і роздільної (б) конструкцій, призначені для головних і районних каналізаційних насосних станцій. Переважну більшість цих станцій роблять сполученими, тому що це завжди приводить до зниження їхньої будівельної вартості та експлуатаційних витрат. Станції роздільного типу застосовуються тільки при відповідному техніко-економічному обґрунтуванні з урахуванням санітарних і місцевих геологічних умов.

На рис. 55, в наведена мережева каналізаційна станція, обладнана шнековими насосами, що значно спрощує конструкцію будівлі. У цьому випадку не потрібне спорудження приміщення ґрат. Стічні води з нижнього колектора надходять у камеру, що виконує роль регулюючої ємності. У ній же

встановлені шнекові насоси, що перекачують стічні води у верхній колектор. Схема станції для перекачування зливових стоків показана на рис. 55, д. У більшості випадків зливі каналізаційні станції обладнуються осьовими насосами, тому що надходження атмосферних стічних вод носить залповий характер, і, щоб забезпечити їхню відкачку, необхідні насоси з відносно великою подачею. Потужного напору при цьому не потрібно.

Насосні станції для перекачування мулу й осаду (рис. 55, з) можуть бути обладнані відцентровими, осьовими, плунжерними або шнековими (для подачі активного мулу в аеротенки) насосами.

Місця розташування насосних станцій водовідведення

У системах водовідведення з нормальним (5...8 м) закладенням колекторів головну каналізаційну насосну станцію розміщують вкінці головного самопливного колектора, тобто в найбільш зниженій зоні території, яку каналізують, куди доцільно стічну воду відводити самопливом. Від головної насосної станції всі стічні води, що надходять до неї, перекачуються на очисні споруди напірним водоводом. Місце розташування головної каналізаційної станції визначається з урахуванням можливості добудови аварійного випуску. У системах водовідведення із глибоким закладенням колекторів головну насосну станцію доцільно розміщувати безпосередньо на майданчиках очисних споруд. При цьому не має необхідності спорудження напірних водоводів значної довжини, що приводить до зниження потужності станції.

Аналогічно до головної вибирається місце розташування й районних каналізаційних станцій в межах району, від якого надходять стоки до даної станції. Якщо при спорудженні самопливного колектора, що підводить воду до головної або районної насосної станції, зустрічаються природні (річка, яр і т.д.) або штучні перешкоди, станцію варто розташовувати перед перешкодами. Це дозволить скоротити капітальні витрати, тому що вартість будівництва (на одиницю довжини) напірного водоводу завжди менша, ніж самопливного колектора або спеціальної споруди (дюкера і т.д.).

Головні й районні каналізаційні станції варто розміщувати поза зоною забудови житловими кварталами. Якщо вони розташовані у житловій зоні, між житловими будинками і будинком каналізаційної насосної станції потрібно передбачити санітарний розрив 20...25 м із захисними зеленими насадженнями.

Місця розташування насосних станцій для перекачування стічних вод у кожному випадку потрібно узгоджувати з органами санітарно-епідеміологічної служби.

У будівлях насосних станцій, розташовуваних у затоплюваній місцевості, оцінка порогів їхніх входів повинна бути не менш чим на 0,5 м вище рівня нагону вітрової хвилі при максимальних обр'ях паводкових вод забезпеченістю 3%.

Мережеві каналізаційні станції розміщують на самопливних колекторах у місцях, де подальше заглиблення колектора стає економічно недоцільним.

Зливові каналізаційні насосні станції доцільно облаштовувати на знижених ділянках площ водозборів поблизу водоймищ, куди атмосферні води потрапляють без попереднього очищення.

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.

Визначення місткості приймального резервуара

Регулюючу місткість приймального резервуара розраховують відповідно до режиму роботи та загальної подачі насосної станції.

Якщо регулююча місткість буде мала, не забезпечуватиме рівномірність роботи станції. Якщо ж вона виявиться занадто велика, з'явиться небезпека випадання великого обсягу зважених речовин зі стічного рідкого середовища, що призведе до швидкого замулення приймального резервуара й можливого загнивання стічної рідини. Необхідну регулюючу місткість зручно визначати графічним способом при сполученні графіків припливу стічних вод і роботи насосів. Враховуючи циклічний режим роботи каналізаційних насосних станцій

(часті включення і вимикання насосів), для визначення регулюючої місткості використовують сумарний погодинний графік припливу і відкачування стічних вод (рис. 56).

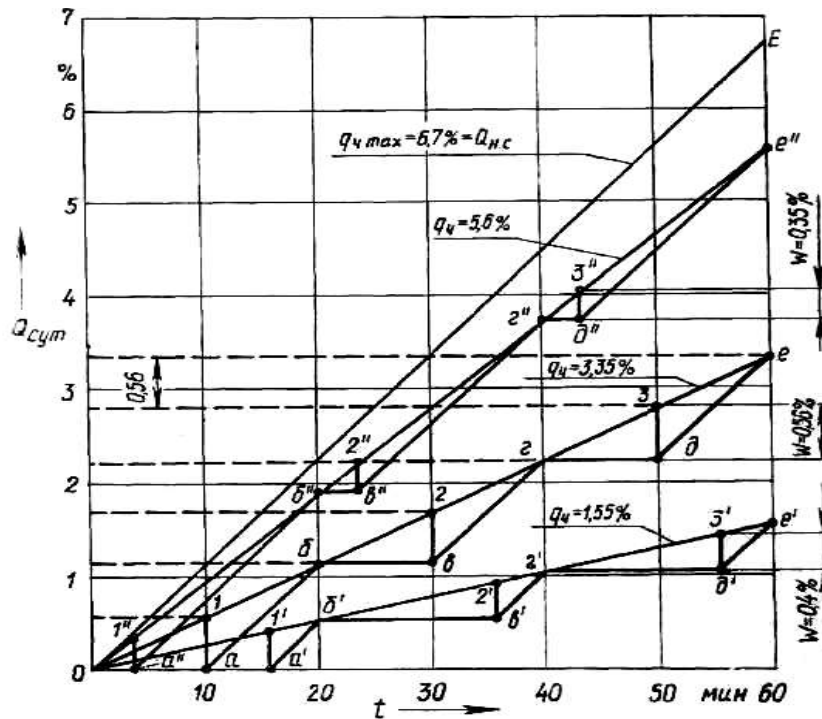


Рис. 58. Погодинні графіки припливу і відкачування стічних вод

По вертикальній осі графіка відкладають витрати стічних вод, виражені у відсотках від добового їхнього припливу, а по горизонтальній - тривалість припливу у хвилинах. Якщо вважати, що приплив (витрата) стічних вод до насосної станції протягом години залишається незмінним, то, відповідно до табл. 2, графіки, що характеризують годинні припливи, будуть мати вигляд прямих ліній. Так, графіком максимального годинного припливу (6,7%) буде пряма OE , мінімального (1,55%) - пряма Oe' , середнього (3,35%) - пряма Oe й т.д. Для визначення регулюючої місткості графіки припливу стічних вод необхідно сполучити із графіками їхнього відкачування. Як зазначалося вище, сумарну подачу каналізаційної насосної станції прирівнюють до максимального годинного припливу. Отже, у години максимального припливу регулюючої ємності не потрібно ($q_{год\ max} = Q_{н.с}$). В усі інші години доби із припливом, що менший максимального, сумарна подача насосів виявиться більшою припливу,

і нормальна робота їх порушиться. Щоб забезпечити рівномірну роботу насосів, практикують періодичне наповнення й відкачування прийомного резервуара.

Приймаємо за розрахункову годину із середнім припливом ($Q_{год}=3,35\%$, лінія Oe) і призначимо трикратне за годину спорожнення (відкачування) резервуара. Поділивши відрізок Oe на три рівні частини, одержимо точки b , z , e відповідно до моментів повного спорожнювання регулюючої ємності, а отже, і моментів вимикання насосів. Відрізки ab , bz , ze , паралельні лінії OE , будуть являти собою графіки відкачування. Відрізки Oa , ab , bz відповідають періодам часу, протягом яких насоси не працюють й, отже, відбувається наповнення прийомного резервуара. Максимальна регулююча місткість (у відсотках від добового припливу) при обраних $Q_{нс}$ (6,7%), інтенсивності припливу (3,35%) і режимі роботи насосів (три вимикання) визначатиме одним з відрізків — $a-1$, $b-2$ або $z-3$. Точки a , b і z відповідають моментам включення насосів, тобто початку спорожнювання ємності, а лінія $Oabz$ являє собою погодинний графік роботи насосів.

Аналогічно за годину з мінімальним припливом $q_{год}=1,55\%$ (лінія Oe') при трикратному вимиканні насосів графік їхньої роботи буде характеризуватися лінією $Oa'b'z'd'e'$, а регулююча місткість - одним з рівних відрізків $a'-1'$, $b'-2'$, $z'-3'$. Для години із припливом $q_{год}=5,6\%$ регулююча місткість характеризується одним з рівних відрізків $a''-1''$, $b''-2''$ або $z''-3''$. Аналіз спільних графіків припливу й відкачування свідчить, що необхідна найбільша регулююча місткість виходить у період із припливом, що дорівнює 50% максимального. Визначена в такий спосіб регулююча місткість уточнюється відповідно до вимог БНіПа.

За вимогами БНіП 2.04.03—85 регулююча місткість приймального резервуара має бути не менше п'ятихвилинної максимальної подачі одного з насосів. Враховуючи це, графік відкачування стічних вод для розрахункової години із припливом, що дорівнює 50% $q_{год max}$ можна побудувати в такий спосіб.

При графіку розподілу середньодобової витрати стічних вод (табл. 3.1), що характеризує $K_{зар} = 1,6$ і $q_{год max} = 6,7\%$, $W_{min} = (6,7:60) \cdot 5 = 0,56\%$. Отримане

значення відкладають по вертикальній осі, із отриманих точок проводять штрихові лінії паралельно до осі абсцис до перетину з лінією припливу Oe . Точки перетину $1, 2, 3$ відповідно моментам наповнення резервуара, $0, a, б, г, e$ — моментам опорожнення. Опустимо із точок $1, 2, 3$ перпендикуляри до горизонтальних ліній, приймаємо точки $a, в, д$, що відповідають моментам включення насосів. Лінії, проведені із точок $a, в, д$ паралельно до лінії OE , утворюють графік відкачування стічних вод.

З його аналізу впливає, що при збільшенні числа включень насосів протягом 1 год. відрізки $a—1, в—2$ і $д—3$, що відповідають регулівній місткості, будуть зменшуватися.

При відомому числі включень насосів за 1 год. мінімальна місткість приймального резервуара може розраховуватися за формулою:

$$W_{\min} = \frac{W_{\text{год min}}}{n} \left(1 - \frac{q_{\text{год min}}}{Q_{\text{нс}}} \right),$$

де $W_{\text{год min}}$ — обсяг стічних вод у годину мінімального припливу (чисельно збігається з $q_{\text{год min}}$, м^3 ;

n — число включень 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, $\text{м}^3/\text{год}$.

Регулюючі місткості насосних станцій, що працюють належно, визначають із умов їхньої спільної роботи. В окремих випадках ці місткості можуть бути визначені з умов прийому стічних вод при спорожнюванні напірного трубопроводу з метою його ремонту. Для населених пунктів з незначною чисельністю мешканців місткість приймального резервуара каналізаційної насосної станції може бути визначена з умов прийому нічних стоків без включення насосів.

Регулюючі ємкості приймальних резервуарів станцій, що перекачують виробничі стоки, визначаються відповідно до технологічних процесів.

Місткість приймального резервуара насосних станцій для перекачування мулу або осаду визначають за обсягом циркулюючого мулу й обсягу осаду, що випускає з відстійників і метантенків. Регулююча місткість приймального резервуара мулової станції, що перекачує осад за межі станції очищення, має бути не більше 15-хвилинної подачі найбільшого із установлених насосів.

Регулюючими ємностями зливових насосних станцій для прийому залпових дощових вод служать ставки-регулятори, під якими зручніше за все використовувати природні западини. Місткість регулюючої призми ставка може бути визначена з аналізу сполучених графіків припливу й відкачування або розрахована за формулою:

$$W = kQ_p t_p,$$

де Q_p — розрахункова витрата дощових вод у місці приєднання водовідвідного спорудження 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 по табл. 5.

Таблиця 5 - Значення коефіцієнта a

a	k при		a	k при		a	k при будь якому 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	—	—

Примітка. Параметр n для різних районів змінюється в межах 0,5.. 0,75. Визначається по СНіП 2.04.03-85.

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, що мають відносно невелике заглиблення (3...5 м). На станціях із заглибленням більше 5 м (шахтного типу) доцільніше використовувати вертикальні насоси, тому що при цьому значно зменшуються розміри будівлі станції в плані.

При призначенні числа робочих агрегатів варто враховувати, що великі насоси мають високий ККД. Тому необхідно призначити меншу кількість агрегатів, але потужніший. Однак установка на станції малого числа агрегатів спричинює збільшення потужності резерву насосного обладнання станції й зниження його маневреності. Необхідно також враховувати добовий обсяг рідкого стічного середовища, що перекачується, рівномірність його припливу і черговість будівництва насосної станції.

Таблиця 6 - Резерв насосного устаткування каналізаційних насосних станцій (БНіП 2.04.03—85)

Виробничі стічні води (побутові і близькі до них по составі)				Агресивні стічні води	
робочі насоси	резервні насоси при категорії надійності дії			робочі насоси	резервні насоси при всіх категоріях 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%

При призначенні числа робочих агрегатів варто враховувати, що великі насоси мають високий ККД. Тому необхідно призначити меншу кількість агрегатів, але потужніший. Однак установка на станції малого числа агрегатів

спричинює збільшення потужності резерву насосного обладнання станції й зниження його маневреності. Необхідно також урахувати добовий обсяг рідкого стічного середовища, що перекачується, рівномірність його припливу і черговість будівництва насосної станції.

Кількість робочих насосних агрегатів для конкретних умов установлюють на підставі техніко-економічних розрахунків варіантів з урахуванням перелічених вище умов.

Практика проектування й експлуатації каналізаційних насосних станцій дозволяє зробити наступні рекомендації з 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 великої подачі встановлюються чотири-п'ять і більше робочих насосних агрегатів.

Крім робочих, на каналізаційних насосних станціях передбачають встановлення резервних агрегатів (табл. 6). Робочі й резервні насоси повинні бути однієї марки, тому що це значно знижує експлуатаційні витрати, спрощує умови й можливість автоматизування процесів керування агрегатами.

Для каналізаційних насосних станцій (незалежно від форми споруди в плані) у більшості випадків приймається однорядне розташування насосних агрегатів. При цьому насоси встановлюються уздовж стіни, що відокремлює машинне відділення від прийомного резервуара. 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 підходящого колектора. На станціях без регулюючих ємностей за розрахунковий рівень приймають позначку рівня води в підходящому лотку при мінімальному її припливі. Якщо насос розміщується вище розрахункового рівня води в

прийомному резервуарі, необхідно передбачати 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 доцільно. По-перше, напір каналізаційних відцентрових насосів вищий, ніж потрібно в даному випадку. По-друге, їхнє використання вимагає досить складної конструкції будівлі з приміщенням для ґрат. Для обладнання таких насосних станцій все більше поширення набувають шнекові насоси, що мають ряд переваг у порівнянні з відцентровими.

На каналізаційних насосних станціях, що перекачують промислові стічні води без великих механічних домішок, при необхідності можна використати водопровідні насоси.

Розрахунки та конструювання усмоктувальних і напірних трубопроводів

До усмоктувальних і напірних трубопроводів каналізаційних насосних станцій висувають такі ж вимоги, як і для водопровідних станцій. Однак при їхньому конструюванні необхідно враховувати деякі особливості, обумовлені складом стічних вод, що перекачують.

У насосних станціях, призначених для перекачування побутових стічних вод, для кожного насоса має бути передбачена окрема усмоктувальна труба з ухилом від насоса не менш $0,003... 0,005\text{‰}$. У бічній частині кожної труби облаштовують люки, через які робиться прочищення труб при їхньому засміченні. На усмоктувальних трубах заводського виготовлення (для вертикальних насосів) люки роблять на заводах-виготовлювачах. Для зливу рідкого середовища з насоса при його ремонті 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 частих їхніх засмічень, 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 відокремлює машинну залу і приймальний резервуар. У цьому випадку з боку приймального резервуара влаштовуються щитові затвори для перекриття приймальних отворів при ремонті засувок 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 тому випадку, якщо насоси працюють із негативною висотою усмоктування (з підпорою). Як усмоктувальні, так і напірні трубопроводи усередині насосної станції виготовляються зі сталевих труб (ДСТ 10704-76, ДСТ 8696-74 та ДСТ 8732-78) на зварюванні. Фланцеві з'єднання використовуються тільки для приєднання труб до арматур і насосів.

Напірні трубопроводи усередині станції можна розміщувати в спеціальних каналах (у будівлях наземних і з малим заглибленням) або безпосередньо на підлозі машинного залу (у будівлях заглиблених і шахтних) на бетонних підкладках з висотою 150... 200 мм і з кроком до 3 м. В останньому випадку, для того щоб забезпечити вільне переміщення обслуговуючого персоналу, улаштовують містки й переходи.

Трубопроводи щодо 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 при перекачуванні стічних вод. До нагнітального колектора підключаються напірні водоводи, що відходять (не менше двох). Діаметри їх визначають, виходячи з умови забезпечення (у випадку аварії на одному з них) пропуску води не менше 70% розрахункової подачі насосної станції при наявності аварійного випуску і 100% при відсутності аварійних випусків.

На нагнітальних трубопроводах при напорах 30 м і більше між насосами й засувками передбачаються односторонні зворотні клапани. Водоміри встановлюються в спеціальних камерах за межами споруди насосної станції.

Приймальні резервуари і їхнє обладнання

Приймальний резервуар (рис. 57) являє собою головну споруду каналізаційної насосної станції й призначений для прийому стічної рідини, що перекачується, із самопливних (безнапірних) колекторів. Завдяки йому забезпечується рівномірна робота насосів у найбільш економічному режимі при нерівномірному припливі стічних вод.

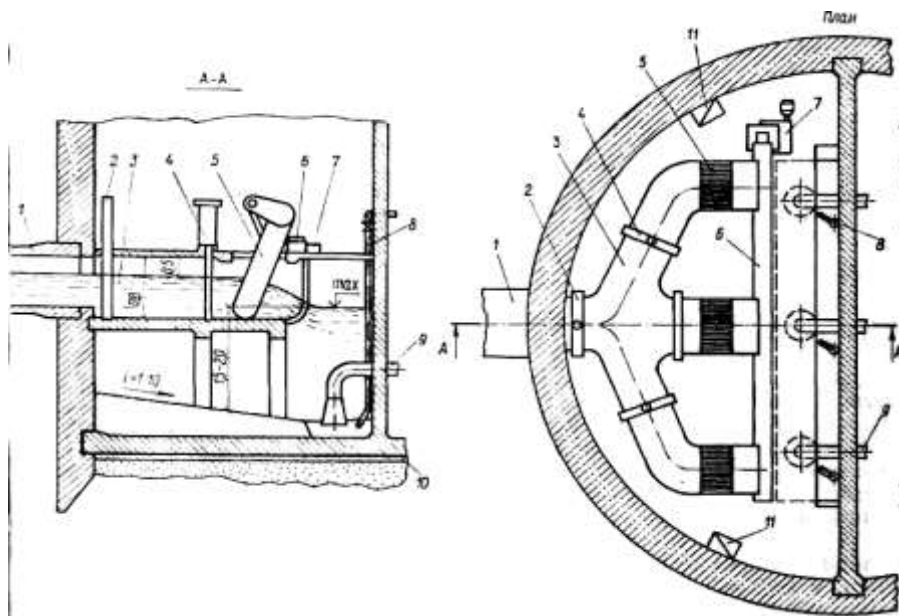


Рис. 57 - Приймальний резервуар:

- 1 - колектор, що підводить; 2 - шиберний (ремонтно-аварійний) затвор;*
- 3 - розподільний канал; 4 - щитовий (робочий) затвор; 5 - механізовані ґрати;*
- 6 - транспортер; 7 - дробарка; 8 - трубопровід для каламуття осаду;*
- 9 - усмоктувальна труба насоса; 10 - гідроізоляція; 11- експлуатаційний люк*

Робочий обсяг приймального резервуара визначається регулюючою місткістю. Глибина в середній його частині має бути не менш 1,5...2 м, а найвищий розрахунковий рівень води в резервуарі приймається рівним позначці лотка колектора, що підводить, при цьому виключається напір потоку, що може призвести до відкладення осаду в колекторі. Дно резервуара влаштовують із ухилом не менш 0,1% у бік приямків усмоктувальних труб.

Прийомний резервуар роблять загальним для всіх насосних установок станції. На станціях з подачею 100 тис. м³/доб. і більше резервуар розділяють на два відділення без збільшення загального обсягу, що дає можливість поліпшити умови його експлуатації (чищення, ремонт і т.д.).

Приймальний резервуар може бути виконаний окремо від приміщення насосної станції. Цей варіант найбільш сприятливий у санітарному відношенні, але при цьому значно погіршуються експлуатаційні умови, збільшується довжина усмоктувальних труб. Найбільше поширення в практиці будівництва каналізаційних насосних станцій одержали варіанти сполученого типу. При цьому приймальний резервуар відокремлюється від машинної зали 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 навпроти люків - скоби для спуску води в резервуар.

Щоб захистити насоси від засмічення, стічну воду пропускають через ґрати або решітки-дробарки, установлені на розподільних каналах при вході 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 10X60 мм) із прозісами 16...20 мм, скріплених круглими (8...10 мм) стрижнями. ґрати встановлюються під кутом 60...70° до обрію. Очищення немеханізованих ґрат здійснюється ручними граблями. Їхнє установлення у деяких випадках допускається на малих каналізаційних станціях при добовому обсязі знятого із ґрат сміття не більше 0,1 м³.

У практиці будівництва каналізаційних насосних станцій найбільше поширення одержали механізовані ґрати, у яких грабельний механізм для видалення затриманого сміття приводиться в рух від електродвигуна через механічний редуктор. На загальній рамі механізованих ґрат типу МГТ (рис. 60),

установленої 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 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 вгору. Виготовляються механізовані ґрати двох модифікацій: вертикальні (РМВ) і похилі (МГТ), установлені під кутом 60...80° до обрію.

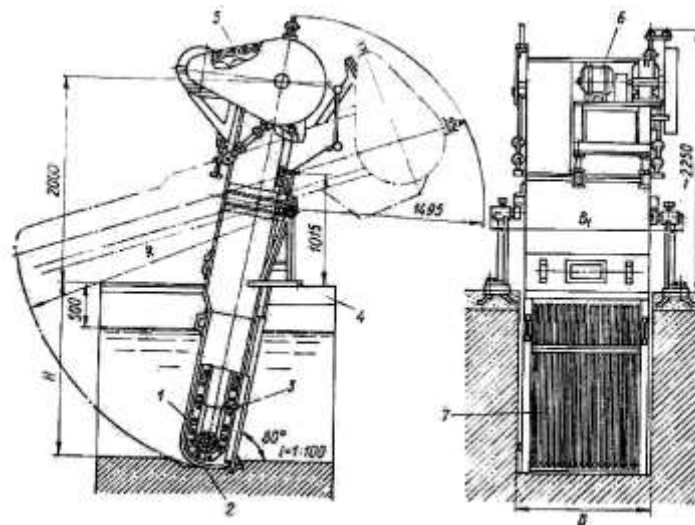


Рис. 58 - Механізовані ґрати типу МГТ:

1 — тяговий ланцюг; 2 — ведена зірочка; 3 — граблі; 4 — шарнірна опора;
5 — приводний ланцюг; 6 — електродвигун; 7 — нерухомі ґрати

Ширину прозорів ґрат приймають на 10...20 мм менше діаметрів прохідних перетинів установлюваних насосів. Нижче наведені розміри, що рекомендуються для прозорів ґрат.

Марка насоса	СД16/27	СД144/46	СД450/22,5	СД800/32	СД2400/75,
	СД4000/28	СД81/18	СД216/24	СД450/90	СД1400/17,5
				СД2700/26,5	СД9000/45

Ширина прозорів
ґрати, мм

20	40	60	90	100	до 120
----	----	----	----	-----	--------

Якщо насосна станція перекачує стічну воду безпосередньо на очисні споруджи, приймальний резервуар обладнується ґратами із прозорами 16 мм. У приймальних камерах очисних споруджень при цьому ґрати не встановлюються.

Для вибору типу й кількості ґрат визначають сумарну площу живого перетину робочої частини ґрат:

$$\Sigma F_p = Q_{max} / v,$$

де Q_{max} — максимальний приплив рідкого середовища, м³/с;

v - швидкість руху рідкого середовища в прозорах ґрати: $v = 0,8 \dots 1$ м/с.

Таблиця 7 - Технічні характеристики механічних ґрат

Марка ґрат	Розміри каналу перед ґратами, мм		Площа проходів ґрати F_p , м ²	Пропускна здатність по воді, м ³ /доб.	Розміри ґрат, мм		Маса ґрат, кг
	Ширина В	Висота Н			Ширина Вх	Радіус R	
РММВ-1000	1000	1000	0,3	26000	—	—	1690
МГ9Т-1000	1000	1200	0,38	33000	1425	2050	1320
МГ7Т	800	1400	0,39	35000	1338	2100	1000
МПП	1000	1600	0,57	50000	1520	2425	1500
МГ10Т	1000	2000	0,74	65000	1580	2850	1800
МГ8Т	1400	2000	1,25	110000	1955	2850	1657
МГ12Т	1600	2000	1,5	130000	2175	2850	1870
МГ6Т	2000	2000	1,9	165000	2675	2850	1961
МГ5Т	2000	3000	2,1	185000	2675	3810	2690

Примітки: 1. За площу проходу похилих ґрат приймають проекцію площі фактичного вільного проходу робочої частини ґрат на вертикальну площину.

2. Пропускна здатність води відповідає протіканню рідкого середовища у прозорах незасмічених ґрат при швидкості, рівній 1 м/с, і максимальному наповненні каналу (0,5 м від рівня перекриття).

Призначивши кількість робочих ґрат n , визначають площу живого перетину прозорів робочої частини одних ґрат:

$$F_p = \Sigma F_p / n$$

і по табл. 7 вибирають марку ґрат.

Кількість ґрат варто приймати мінімальною. Надійність роботи насосної станції при цьому забезпечується за рахунок установавання резервних ґрат, кількості яких приймають у наступний спосіб: за однієї й більше механізованих робочих ґратах із прозорами понад 20 мм і до трьох ґрат із прозорами 16...20 мм - одну механізовану; понад три робочі механізовані ґрати із прозорами 16...20 мм - дві механізовані.

Грабельний механізм скидає затримане сміття з ґрат на стрічковий транспортер, установлений за ґратами. За допомогою транспортера сміття подається до спеціальних дробарок, звідки після дроблення скидається в канал перед ґратами.

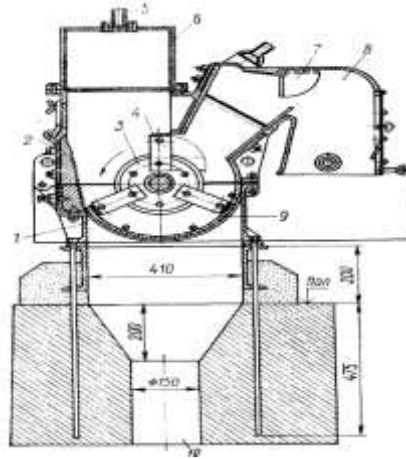


Рис. 59 - Дробарка молоткового типу Д-3:

1- корпус; 2 - зубчасті сегменти; 3 - ротор; 4 - молотки; 5 - підведення води; 6 - горловина дробарки 7 - щиток-відбивач; 8 - пристрій для вловлювання викидів, які не піддаються подрібненню; 9 - ґратчастий піддон; 10 - канал для скидання

Для дроблення сміття використовуються дробарки молоткового типу (рис. 59). У їхньому чавунному корпусі встановлюється ротор, що становить низку дисків, до яких на сталевих пальцях вільно підвішені молотки (сталеві пластини прямокутної форми). Змінні зубчасті сегменти встановлюються в корпусі проти напрямку обертання ротора.

У нижній його частині закріплюється напівциліндричний піддон із отворами. До верхньої частини горловини дробарки підводиться вода з технічного водопроводу. Таким чином, сміття, що потрапило між рухливими молотками й нерухомими зубчастими сегментами, дробиться до стану кашоподібної маси, що через отвори піддона вимивається до каналу водою (6...8 л води на 1 кг відкидів). На каналізаційних насосних станціях застосовуються переважно дробарки трьох типів:

- а) конструкції Мосводоканал НДІ проекту - Д-3 (продуктивністю 300...600 кг/год.);
- б) конструкції Гідропроєкту (продуктивністю 2000 кг/год.);
- в) конструкції заводу «Водоприбор» (продуктивністю 1000 кг/год).

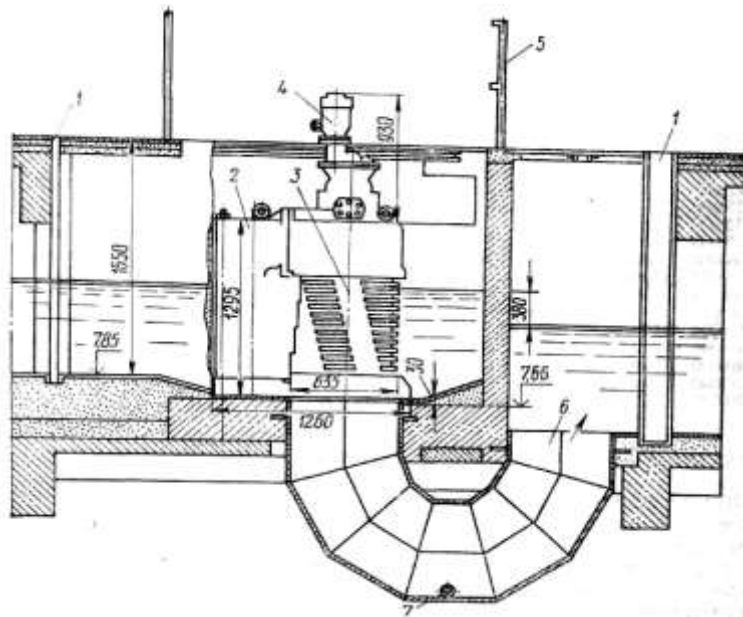


Рис. 60 - Решітка-дробарка типу РД-600:

*1 - пази для шиберного (ремонтного) затвора; 2 - нерухомий корпус;
3 - обертовий барабан; 4 - електродвигун; 5 - огороження; 6 - дюкер;
7 - отвір для спорожнювання дюкери*

Більш прогресивними й сучасними механізмами для попереднього очищення стічної води перед надходженням у насоси є решітки-дробарки (рис. 60).

Решітки-дробарки - це апарати, що сполучають дві операції: затримку великих включень, які перебувають у стічній рідині, і їхнє подрібнення до певних розмірів (дроблення). Конструктивно вони становлять відкритий барабан, що обертається на вертикальній вісі в нерухомому корпусі. У барабані зроблено горизонтальні щілини, якими стічна вода проходить із каналу, що підводить, до приймального резервуару. На барабані закріплено різці, які при обертанні проходять відносно смикальних гребенів, закріплених на корпусі з мінімальним зазором. Тверді включення, що не пройшли крізь прозори барабана, подрібнюються й з потоком несуться до приймального резервуару. Рідке середовище з барабана до прийомного резервуара може надходити безпосередньо або через дюкерний пристрій.

Решітки-дробарки порівняно з роздільними механізованими ґратами й дробарками мають низку істотних переваг:

а) через те, що процес дроблення сміття здійснюються під шаром води, значно поліпшуються санітарно-гігієнічні умови експлуатації приймальних резервуарів;

б) у 18...20 разів скорочується потужність приводу та споживання електроенергії на затримку та подрібнювання великих фракцій забруднень;

в) через щілини щодо малих розмірів з стічною водою проходять механічні забруднення, замість яких можуть використовуватися водопровідні насоси загального призначення з більш високим ККД і напором;

г) установка відрізняється компактністю.

Добір решіток-дробарок, що випускає вітчизняна промисловість, можна здійснити за табл. 8.

Щитові затвори, які становлять перед кожними ґратами на каналах, що підводять, дозволяють відключати ґрати у випадку їхньої зупинки або ремонту. На випадок аварії або ремонту приймального резервуара передбачається плаский щитовий затвор на устя підходящого колектора. При закритті цього затвора стічна вода корегується через пристрій аварійного скидання, наявний у найближчому від насосної станції колодязі на підходящому колекторі.

Для каламучення осаду біля приймальних кожної усмоктувальної труби облаштовують трубопроводи, вода до яких підводиться від напірних труб насосів. У приймальних резервуарах необхідно передбачити трубопроводи з технічною водою для підключення шланга з брандспойтом, за допомогою якого здійснюється періодичне промивання резервуара. Для підтримання в належному санітарному стані приймального резервуара необхідно забезпечувати підведення питної води. У приміщенні приймального резервуара встановлюються вантажопідйомні механізми.

Насосні станції перекачування мулу

Мулові насосні станції входять до складу каналізаційних очисних споруд. Вони бувають двох типів: для перекачування сирого осаду з первинних відстійників і надлишкового активного мулу з вторинних відстійників до

метантенки або інших споруд для подальшої обробки; 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 типу Д. Станції для перекачування активного мулу можна обладнати шнековими насосами. Загальну подачу мулової насосної станції визначають за обсягом осаду, а напір - за схемою вертикального планування споруд очисної станції. Режим роботи станції пов'язаний з режимом очисних споруд. Через те, що мул, який перекачується, не має великих механічних включень, приймальні резервуари ґратами не обладнуються.

Насосні станції для перекачування мулу можуть розміщуватися в окремих будівлях або в убудованих приміщеннях виробничих споруд.

Таблиця 8 - Дані для підбора решіток-дробарок типу РД

Добова подача насосної станції, м ³ /доб	Максимальна витрата добової рідини, л/с	Марка ґрат дробарки	Сумарна площа щілин у барабані, м ³	Число ґрат дробарок		Основні розміри ґрат дробарки, мм				Потужність електродвигуна, кВт	Маса решітки-дробарки, кг
				робочих	резервних	Висота	Ширина	Зовнішній діаметр барабана	Ширина щілин		
12	0,4	РД-100	0,0076	1	1	800	350	100	8	0,4	85
250	8,7			1	1						
400	12	РД-200	0,019	1	1	1485	950	180	8	0,8	405
700	18			1	1						
1400	33			2	1						
2700	59			3	1						
4200	92	РД-400	0,119	1	1	1590	920	400	10	0,8	665
7000	147			1	1						
10000	194			2	1						
17000	315			3	1						
25000	445	РД-600	0,445	1	1	2170	1250	635	10	1,5	1800
32000	556			1	1						

Продовження табл. 8

50000	720			2	1						
64000	903			2	1						
80000	1100			3	1						
100000	1330			3	1						
130000	1730	РД-900	0,800	2	1	2675	1820	900	10	3	4000
160000	2130			3	1						
220000	2920			3	1						
280000	3720			4	2						
400000	5340			6	2						
500000	6660			7	2						

ЗМ 2.2. Особливості та проектування каналізаційних насосних станцій

1. Особливості і проектування каналізаційних насосних станцій. Грати, приймальні резервуари. Допоміжне устаткування до насосної станції.
2. Повітродувна станція систем водовідведення та водопостачання. Класифікація.
3. Повітродувні станції з об'ємними гідромашинами.
4. Повітродувні станції з лопатними гідромашинами.
5. Регулювання продуктивності повітродувних станцій.
6. Техніко-економічне обґрунтування розрахунків та проектування повітродувних станцій. Використання ЕОМ при розрахунку повітродувних станцій.

Повітродувна станція - комплекс елементів з устаткування, що забезпечує стисненим повітрям (газом) технологічні процеси систем водопостачання і водовідведення.

У системах водопостачання компресорні установки й повітродувні станції забезпечують подачу стисненого повітря на роботу ерліфтів, інших видів підйомних пристроїв і апаратів.

У системах водовідведення повітродувні станції забезпечують стисненим повітрям роботу аеротенків, преаераторів, змішувачів, стабілізаторів мулу, реагентного господарства, вакуум-фільтрів та інших споруд.

До складу великих повітродувних станцій входять:

- головна будівля станції з основним і допоміжним устаткуванням;
- спорудження 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).

Поза залежністю від принципу дії й конструктивного виконання компресором називають гідравлічну машину, що перетворює енергію двигуна на енергію стискання й переміщення газу.

Повітродувні машини (компресори) розрізняють по створюваному напорі:

- вентилятори - гідромашини, що переміщують газ напором до 1,5 м.в.ст. (1500 мм. в. ст.);
- повітродувки (турбоповітродувки, нагнітачі) гідромашини, що транспортують газ при напорі до 0,3 МПа, що працюють без штучного охолодження. Як повітродувки використовують ротаційні нагнітачі, що розвивають тиск до 0,3 МПа (3 кг/см²);
- турбокомпресори - гідромашини, що подають газ під тиском більше 0,3 МПа, що працюють зі штучним охолодженням.
- Робочий процес компресора складається з:
- усмоктування повітря (газу) за постійного тиску p_1 ;
- стиску газу від тиску p_1 до тиску p_2 (ступінь стиску $E = \frac{P_2}{P_1}$);
- нагнітання стисненого повітря при постійному тиску p_2 . Повний напір компресора H , м:

$$H = \int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{\gamma} + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2g}$$

де $\int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{\gamma} = H$ - статичний (п'єзометричний) напір, м;

$$\frac{C_2^2 - C_1^2}{2g} = H_p - \text{швидкісний (динамічний) напір.}$$

$$H = H_p + H_d$$

Повний напір H , мм вод. ст.:

$$H = p_2 - p_1 + \frac{\gamma(C_2^2 - C_1^2)}{2g},$$

Процеси стискання газу в компресорі бувають:

- ізотермічні, при незмінній температурі: $T_1 = T_2 = \text{const}$;
- адіабатичні, при відсутності теплообміну: $Q = 0$;
- політропічні з підведенням або відводом тепла.

Ізотермічне стискання передбачає максимальний відведення тепла. Процес ізотермічного стиску вимагає мінімальної роботи. Практично за допомогою охолодження вдається відводити від компресора тільки частину тепла. В охолоджуваному компресорі на початку стискання політропа наближається до адіабати, а потім наприкінці стискання - до ізотерми.

Класифікація повітродувних станцій

Повітродувні станції класифікують як за призначенням, так і за низкою ознак, які визначаються типом і конструктивними особливостями основного устаткування.

Повітродувні станції бувають:

- 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 одноступінчастими компресорами;

- з багатоступінчастими повітродувками (компресорами);
- г) за видом охолодження компресорів:
 - з нагнітачами без штучного охолодження;
 - з компресорами зі штучним охолодженням;
- д) по типі приводних двигунів:
 - з електродвигунами;
 - з двигунами інших типів.

Вибір того чи іншого типу повітродувної станції для конкретного виробництва визначається значенням розрахункових параметрів станції: кількістю стисненого повітря (газу), що споживається в системі, і необхідним тиском нагнітання.

Потужність повітродувної станції N , кВт:

$$N = \frac{0,0273 \cdot Q \cdot p}{\eta_a},$$

де Q - подача повітродувної станції, м³/год;

p - тиск стисненого повітря, атм;

η_a - ККД агрегату, %.

Робота повітродувних станцій і компресорних установок забезпечується роботою повітродувних машин (компресорів).



Рис. 61 - Класифікація повітродувних машин за конструктивними особливостями й принципом дії

Об'ємні гідромашини працюють за принципом витиснення; лопатеві - за принципом використання відцентрових сил.

Принцип дії об'ємних і лопатевих компресорів ідентичний роботі насосів, що перекачують краплинні рідини.

Основна відмінність між ними полягає в тому, що компресори переміщують повітря, гази, що легко змінюють свій обсяг під впливом температури й тиску; - при їхній роботі мають місце 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 при стиску газу відбувається залежно від термодинамічних умов стиску. Відомі три процеси стиску: адіабатичний, ізотермічний, політропічний.

Адіабатичний процес стиску відбувається без теплообміну із зовнішнім середовищем, без охолодження: - температура газу підвищується;

Ізотермічний процес стиску відбувається при повному відводі тепла; тепло виділяється при стиску газу повністю приділяється від компресора системою охолодження; - температура газу при стиску не підвищується.

Політропічний процес стиску, що наближається до ізотермічного, має місце в реальних умовах стиску газу при відводі тепла від компресора за допомогою охолодної води, що циркулює у водяній сорочці циліндра.

Витрата потужності компресора з відводом тепла при політропічному процесі стиску газу практично наближається до витрати потужності, що відповідає ізотермічному процесу. Максимальне наближення політропічного процесу стиску до ізотермічного обмежується доцільністю витрати охолодної води й конструктивною особливістю робочого циліндра. Звичайно приймають різницю температури вхідної й вихідної води $5 \div 10^{\circ}\text{C}$; при більшій різниці температур - збільшують приплив води, що охолоджує.

Основні елементи *компресорної установки* показані на схемі (рис. 62)

До складу установки входять:

- компресорний агрегат ①;
- охолоджувачі;
- збирач газів (повітрозбірник, ресивер) ②
- система усмоктувальних і напірних труб ③;
- фільтр ④;
- контрольно-вимірювальні прилади.

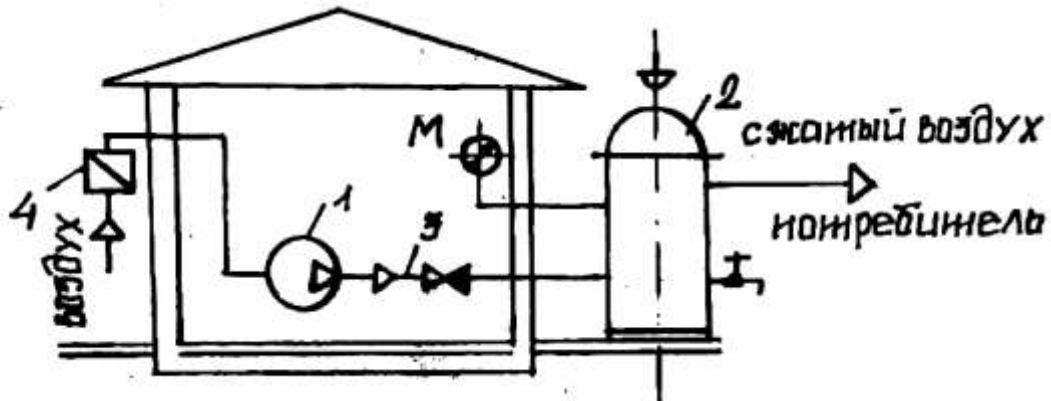


Рис. 62 - Основні елементи компресорної установки

Компресорний агрегат - компресор, який агрегатиують із приводним двигуном. Як приводні двигуни застосовують: електродвигуни, двигуни внутрішнього згоряння, парові машини й ін.

Поршневі компресори створюють високий ступінь стиску $E = p_2/p_1$ за відносно невеликій подачі повітря або газу, мають високі коефіцієнти корисної дії. Застосування доцільно за тиску в системі більше 10 кг/см^2 (1МПа), за подачах не більше $100 \div 150 \text{ м}^3/\text{хв}$.

Розходження в роботі поршневого насоса й поршневого компресора полягає в тому, що поршень насоса подає рідину протягом усього нагнітального циклу, а компресор виштовхує газ до нагнітальної труби після того, як тиск у циліндрі компресора перевищить тиск у напірному трубопроводі.

Поршневі компресори бувають:

- за способом дії: простої й подвійної дії;
- за розташуванням циліндрів: горизонтальні, вертикальні, з похилими циліндрами;

- за кількістю ступенів стиску:- одно -, двох -, багатоступінчаті;
- за способом охолодження: з повітряним, з водяним охолодженням;
- за призначенням: повітряні, кисневі, аміачні, вуглекислотні й ін.

Робота поршневого компресора описується індикаторною pV -діаграмою, перевернутою якої в порівнянні з нормальною вказує на неправильну роботу компресора.

У разі необхідності одержання газу під високим тиском застосовують багатоступінчатий стиск (багатоступінчасті компресори).

Для створення економічності процесу, наближення процесу стискання до ізотермічного, застосовують дво- і багатоступінчастий стискання газу із проміжним охолодженням між ступенями.

Турбокомпресори - відцентрові гідромашини, що працюють за принципом відцентрових насосів; за відносно вищих подачах газу створюють невеликий тиск (0,15÷1,0МПа). Для збільшення ступеня стискання повітря застосовують багатоступінчасті гідромашини; на одному валу декілька послідовно працюючих коліс.

Турбоповітродувки - відцентрові машини, що стискають газ до 0,3 МПа. Кількість ступенів $z=3÷4$. Охолодження не застосовують.

Турбокомпресори створюють більше високий тиск. Кількість ступенів - до 10 і більше. Охолодження не застосовують. Процес стискання в повітродувках відбувається за адіабатою.

Основне рівняння турбоповітродувок, турбокомпресорів для теоретичного напору H_m , м:

$$H_m = \frac{c_2 \cdot u_2 \cdot \cos a_2}{g},$$

де c_2 - абсолютна швидкість на виході з лопатки робочого колеса, м/с;

u_2 - колова швидкість, м/с.

Повітрязбірник (ресивер) виконує регулювальні функції, згладжує короткочасне розходження між подачею компресора й витратою повітря в

системі. Ресивер зі зростанням тиску в системі приймає надлишок газу, а за зниження - віддає в мережу.

Разом з тим, зі зменшенням витрати газу споживачами тиск у збирачі газів збільшується й може перевищити припустимі значення. У такому випадку приведення подачі компресора у відповідність витраті газу в системі вимагає зниження подачі нижче за розрахункову величину.

Ресивер вирівнює нерівномірну (синусоїдальну) подачу повітря поршневіми компресорами. Збирач газів обладнується пристроями для вловлювання масла й сепарації сконденсованої вологи. Збирачі газів обладнуються запобіжними клапанами, спускним краном і манометром.

При нагріванні змазка, що подається до циліндра компресора під час його роботи випаровується й переміщується разом з повітрям у ресивер, де можливе утворення вибухової суміші. Особливо небезпечне утворення в ресивері такої суміші за недостатнього охолодження компресора.

На вимогу техніки безпеки збирачі газів мають встановлюватися не в приміщеннях повітрорудних станцій.

Обсяг ресивера залежить від ступеня нерівномірності подачі стисненого повітря й ступеня стискування.

У компресорних установках невеликої продуктивності охолоджувачі газу (вертикальні або горизонтальні теплообмінники) розташовуються безпосередньо на блоці циліндрів компресора, а для потужніших установок - поблизу компресорів як окремі апарати.

Розрахунок повітроводів (газопроводів) складається в підборі діаметрів труб і визначення втрат напору.

Швидкість руху повітря в головному й розподільних повітроводах приймають близько $v=10\div 15$ м/с, у повітроводах малих діаметрів $N=4\div 5$ м/с.

З метою очищення газу (повітря) від пилу, інших домішок на усмоктувальній трубі повітряного компресора встановлюють газові фільтри (масляні).

Запобіжні клапани встановлюються між ступенями компресора на проміжних охолоджувачах і ресивері для запобігання установки від надмірного підвищення тиску.

До складу допоміжного устаткування повітрорудних станцій входить контрольно-вимірювальні апарати.

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 охолодної води для контролю за тиском охолодної води системи охолодження компресора.

Термометри контролюють температуру:

- повітря перед кожним охолоджувачем і за ним;
- повітря на виході з компресора;
- охолодної води в колекторі й на виході із сорочок циліндрів і всіх охолоджувачів.

Реєструються показання електричних приладів, що контролюють потужність, яка споживається електродвигунами, а також показання витратомірів компресорів.

У системах газопостачання витрати стисненого газу можуть змінюватися в широкому діапазоні залежно від роду споживача і його режиму роботи.

Подача стисненого газу повітрорудними станціями й витрата його споживачами мають бути збалансованими.

- Відомі наступні способи регулювання подачі компресорів:
- зміна частоти обертання приводного вала компресора;
- примусове відкриття всмоктувальних клапанів;
- перепуск газу з нагнітальної труби до усмоктувальної;
- дроселювання в усмоктувальних трубах;
- підключення додаткового "шкідливого" простору.

Примусове відкриття усмоктувальних клапанів знижує подачу компресора, призводить до переходу його, залежно від ступеня їхнього відкриття, на частковий або повний холостий хід. Приймають повне відкриття усмоктувальних клапанів на частині ходу поршня.

Перепуск газу з нагнітальної труби до усмоктувальної може бути вільним або дросельним за байпасною лінією. Регулювання здійснюється за допомогою байпасного вентиля.

Дроселювання в усмоктувальному трубопроводі викликає падіння тиску p_1 під час усмоктування. Ступінь стискання збільшується, об'ємний ККД зменшується, зменшується й подача. Застосування зазначеного способу регулювання не економічно, тому що збільшується витрата енергії на кожен кілограм стисненого газу.

Обладнання повітродувних станцій

Повітродувна станція - комплекс компресорних агрегатів, призначений для централізованого повітропостачання систем водопостачання й каналізації.

Розрахункова максимальна об'ємна продуктивність станції $V_{\text{макс}}$:

$$V_{\text{макс}} = 1,3 \cdot V_{\text{ср}},$$

де $V_{\text{ср}}$ - середня витрата стисненого повітря, яка залежить від:

- кількості споживачів;
- середньої потреби споживачів у повітрі;
- коефіцієнтів одночасності роботи.

Тип і кількість робочих компресорів вибирають залежно від $V_{\text{макс}}$ і робочого тиску стисненого повітря. Установлюється також резерв.

Станція розташовується в центрі повітророзподільної мережі, при забезпеченні відбору чистого повітря (без пилу й сторонніх включень).

До складу обладнання станції входять:

- основне устаткування (компресори-двигуни);
- допоміжне та механічне устаткування (фільтри, повітрозбирачі, система охолодження, система постачання масла, КВП і А й т.д.);
- система повітроводів.

На рис. 63 наведена блок-схема повітродувної станції.

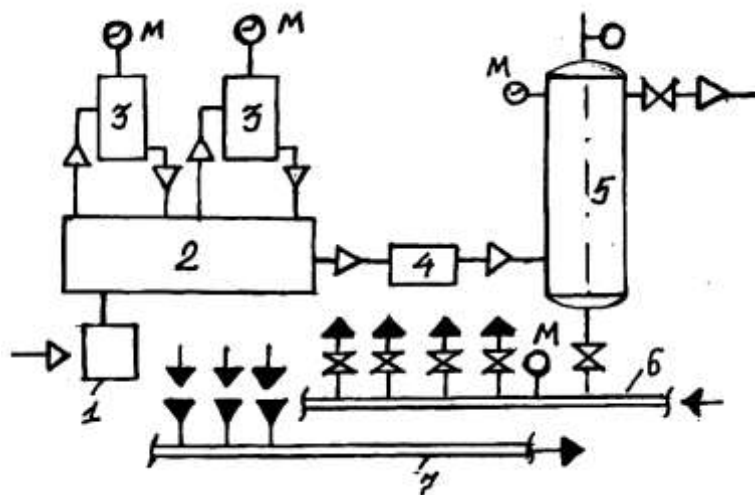


Рис 63 - Блок-схема повітродувної станції

1 - фільтр; 2 - компресор; 3 - охолоджувач (холодильник);
4 - масляний бак; 5 - ресивер (повітрозбірник); 6 - колектор холодної
води; 7 - колектор скидної води

Схема компресорної установки в складі повітродувної станції наведена на рис. 64. Кожен компресор ① має ресивер (сталевий резервуар-повітрозбірник) ②, що встановлюється на виході з повітродувки.

Функції ресивера:

- ємність, що акумулює, яка вирівнює коливання тиску при нерівномірному відборі стисненого повітря;
- звільнення стисненого повітря від пари, масла й вологи, що конденсуються при охолодженні повітря в резервуарі, за допомогою пристрою, що сепарує.

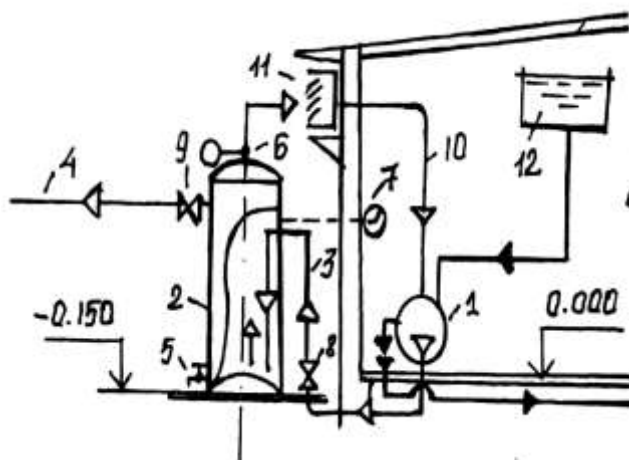


Рис. 64 - Схема компресорної установки в складі повітродувної станції

Для кращого охолодження газу й забезпечення безпеки за можливого вибуху ресивери встановлюють зовні будівлі повітродувної станції.

Ємність резервуара $V_{рез}$ м³, визначається за емпіричними формулами, залежно від продуктивності компресора V , м³/хв.

Труба, що підводить (нагнітальна) ③ (рис. 64) опускається в ресивері до дна, а випускна труба ④ знаходиться вгорі резервуару. Для спуска вологи й масла внизу резервуара розташований спускний кран ⑤. Для надійної сепарації масла до ресивера можуть встановлюватися водо- й масловіддільники.

Резервуар забезпечується запобіжним клапаном ⑥ і манометром ⑦.

На нагнітальній трубі до ресивера не можна встановлювати запірний клапан (засувку), тому що пуск компресора при наявності такої закритої засувки приведе до поломки й вибуху компресора.

У цьому місці встановлюється тільки зворотний клапан ⑧, що не допускає зворотного руху газу при зупинці компресора. На виході магістрального повітроводу з ресивера встановлюють засувку ⑨.

Повітря підводиться до компресора по усмоктувальній трубі ⑩ через жалюзі і масляний фільтр (11), що забезпечують забір чистого повітря, без пилу й сторонніх включень.

Усмоктувальна труба не повинна піддаватися нагріванню, тому що підвищення температури усмоктуваного повітря знижує продуктивність компресора.

Для підвищення надійності подачі охолодної води на станції може бути встановлюватися резервний бак (12).

Поршневі компресори

На рис. 65 показана індикаторна діаграма теоретичного робочого процесу поршневого компресора.

V - робочий обсяг циліндра; S - хід поршня в циліндрі.

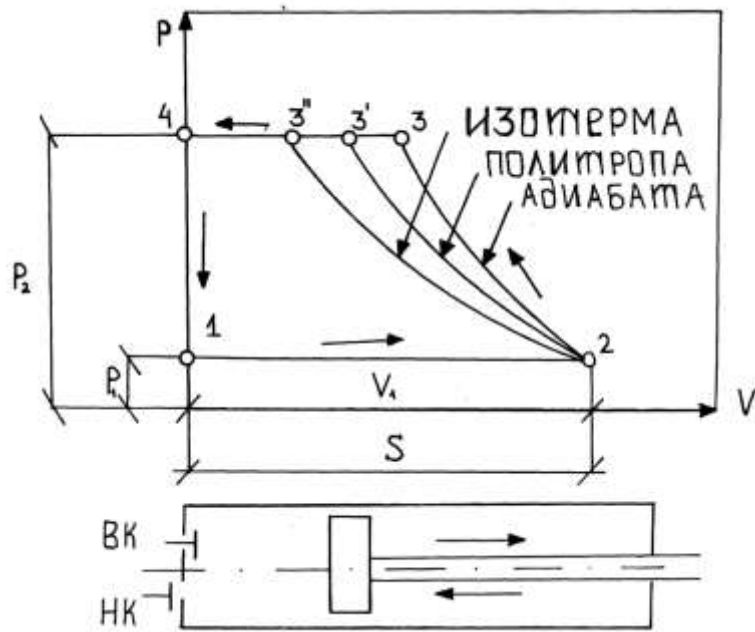


Рис. 64 - Індикаторна діаграма теоретичного робочого процесу поршневого компресора

Цикл усмоктування: поршень переміщується зліва направо; усмоктувальний клапан ВК відкритий - повітря надходить до циліндра за тиску p_1 , рівному атмосферному за лінією усмоктування 1-2.

Цикл нагнітання: поршень іде з права наліво - клапан ВК закритий і газ у циліндрі стискається. Зміна тиску при стискання газу відбувається залежно від термодинамічних умов стискання:

- за адіабатою - лінія 2-3; (без теплообміну з зовнішнім середовищем (без охолодження); температура газу підвищується від T_2 у т. 2 до T_3 у т. 3;
- за ізотермою - лінія 2-3''. При повному відводі тепла; температура газу при стисканні не підвищується: $T_2 = T_3''$;
- за політропою - лінія 2-3'. Процес стискання, що наближається до ізотермічного.

При досягненні тиску в циліндрі p_2 , рівному тиску в напірній системі відкривається напірний клапан НК і газ надходить до напірної системи при тиску p_2 за лінією нагнітання (2-3; 2-3'; 2-3'')

Після закінченні нагнітання й спорожнення циліндра від газу починається цикл усмоктування. При цьому тиск миттєво падає від p_2 до p_1 ; за лінією 4-1.

Аналіз pV -діаграми показує, що:

- найбільша робота компресора витрачається при адіабатичному процесі стискання газу (площа діаграми $1-2-3-4-1$ - найбільша);
- найменша робота - при ізотермічному процесі (площа $1-2-3''-4-1$ - найменша);
- при відведенні тепла за допомогою системи охолодження процес стискання газу відбувається по політропі, що наближається до ізотерми.

Через неможливість забезпечити повне відведення тепла при стисканні газу подальше наближення до ізотермічного процесу нездійсненне.

Вважають, що витрата потужності компресора з відведенням тепла при політропічному процесі стискання газу практично наближається до витрати потужності при ізотермічному процесі.

Охолодження циліндра компресора поліпшує умови експлуатації:

- знижує витрату потужності;
- змащення за більш низької температури охолоджуючої рідини не вигорає, що створює сприятливі умови роботи компресора.

На рис. 65. показана індикаторна діаграма дійсного робочого процесу в компресорі. Перекручування дійсної індикаторної діаграми, порівняно з теоретичною, пояснюють реальними процесами:

- наявністю обсягу шкідливого простору V_0 ;
- подоланням гідравлічних опорів у прохідних каналах;
- витоками й нагріванням газу, під час його руху через клапани й т.д.

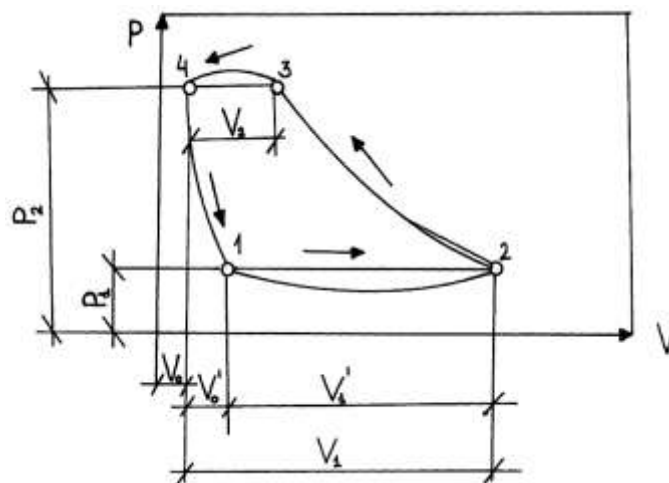


Рис. 65 - Індикаторна діаграма дійсного робочого процесу в компресорі

Не весь газ витісняється з циліндра при нагнітанні на лінії 3-4; частина газу залишається в циліндрі в обсязі шкідливого простору V_0 при тиску p_2 . При зміні 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 на лінії 1-2. При цьому усмоктуваний обсяг газу фактичний (V'_1) завжди менше обсягу циліндра (V_1).

Об'ємний ККД компресора:

$$\lambda_0 = \frac{V'_1}{V_1}$$

При ізотермічному процесі:

$$\lambda_0 = 1 - E \left(\frac{p_2}{p_1} - 1 \right),$$

де E — шкідливий простір; приймають $E^{мін} = 0,05$;

Дійсний ступінь наповнення циліндра компресора λ (за рахунок гідравлічних опорів й ін. реальних факторів) менший за його об'ємний ККД λ_0 . Приймають $\lambda = \lambda_0 - 0,04$.

Для одержання газу під високим тиском застосовують багатоступінчаті компресори. Необхідність багатоступінчастого стискання порівняно з одноступінчастим знаходить наступне обґрунтування: з одного боку, при збільшенні ступеня стискання p_2/p_1 об'ємний ККД компресора λ_0 зменшується.

При $\lambda_0 = 0$ граничний ступінь стискання для ізотермічного процесу визначається за формулою:

$$0 = 1 - 0,05 \left(\frac{p_2}{p_1} - 1 \right), \text{ звідки } \frac{p_2}{p_1} = 21$$

Реально припустимий ступінь стискання - визначається за умовою:

$$\lambda_0 = 0,7: \quad 0,7 = 1 - 0,05 \left(\frac{p_2}{p_1} - 1 \right) \text{ звідки } \frac{p_2}{p_1} = 7$$

З іншого боку, стиск газу супроводжується підвищенням температури (табл. 9)

Гранична температура спалаху мастил $T_{гран} = 220 \div 240^\circ\text{C}$. Отже, виходячи з необхідності забезпечення нормальних умов роботи компресора, запобігання

спалаху масла й утворення вибухонебезпечної суміші в циліндрі, максимальним ступенем стискання вважають $p_2/p_1=6\div 7$.

Таблиця 9 - Кінцева температура газу при різному ступені стискання

Ступінь стискання повітря, p_2/p_1	Початкова температура T_1 , °С	Кінцева температура T_2 , °С
2	20	85
4	20	165
6	20	220
7	20	239
8	20	263

При одноступінчастому стисканні газу зі збільшенням ступеня стискання p_2/p_1 , навіть при охолодженні циліндра, процес стискання адіабатою не наближається до ізотермічного. Тому економічність роботи компресора з високими значеннями об'ємного ККД λ_0 може досягатися використанням багатоступінчатого стискання газу із проміжним охолодженням ступенів (рис. 66).

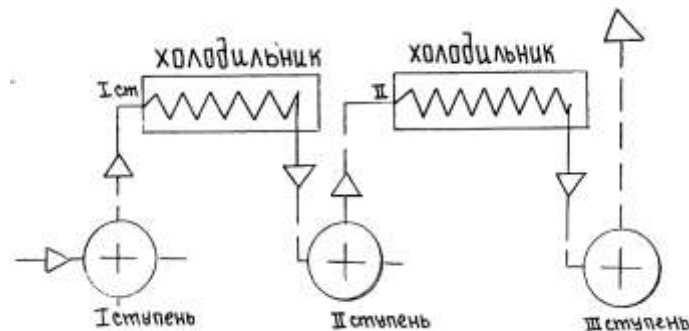


Рис. 66 - Багатоступінчатое стискання газу із проміжним охолодженням ступенів

Розглянемо теоретичну pV -діаграму робочого процесу у триступінчатому компресорі (рис. 67).

Перший ступінь

- лінія $a-1$ - усмоктування повітря при тиску p_1
- лінія $1-2$ - стискання адіабатою до p_2 (тиск газу малий).

Після охолодження газу в холодильнику його обсяг ($v-2$) зменшується до обсягу ($v-3$) при p_2 ; ($2-3$) - зміна обсягу газу.

Другий ступінь

- лінія $v-3$ - усмоктування при p_2 ;
- лінія $3-4$ — стискання політропою до p_3 (тому що відведено частину тепла

при охолодженні);

- лінія 4-3 - нагнітання з II ступеня в холодильник при p_3 . Після охолодження газу його обсяг (3-4) зменшується до обсягу (3-5) при p_3 ; (4-5)- зміна обсягу газу.

Третій ступінь

- лінія (3-5) - усмоктування при p_3 ;
- лінія (5-6) - стискання політропою до p_4 (відведена частина тепла при охолодженні);
- лінія (6-d) - нагнітання газу в збірник при p_4 .
- Умови нормальної роботи багатоступінчастого компресора:
- газ має охолоджуватися в холодильниках до початкової температури усмоктування в I ступені;
- кінцева температура газу в усіх ступенях має бути однакою;
- ступінь стискання в кожному циліндрі приймається однакою.

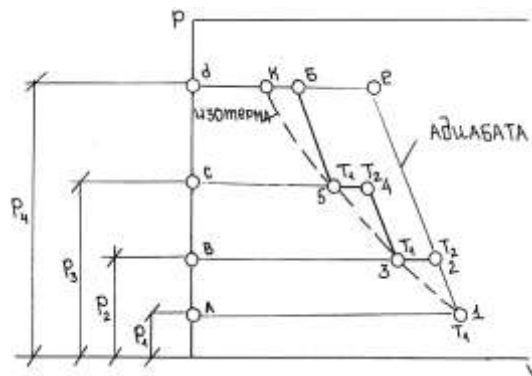


Рис. 67 - Стискання газу у триступінчастому компресорі

Для триступінчастого компресора ступінь стискання кожного ступеня:

$$E = \frac{p_2}{p_1}; E = \frac{p_3}{p_2}; E = \frac{p_4}{p_3}$$

$$E_1 = E_2 = E_3;$$

$$E_1 \cdot E_2 \cdot E_3 = E^3 = \frac{p_2}{p_1} \cdot \frac{p_3}{p_2} \cdot \frac{p_4}{p_3} = \frac{p_{\text{кін}}}{p_{\text{поч}}}$$

Для компресора з z щаблями: $E^z = \frac{P_{z+1}}{P_z}$

$$\text{Ступінь стискання: } E = \sqrt[z]{\frac{P_{ZH}}{P_z}}$$

Під час вибору кількості ступенів z ступень стискання в кожному ступені великих компресорів приймають до $E=P$; для малих - трохи більшою.

Залежно від стисканні газу кількість ступенів приймають:

- при стисканні газу до $5 \div 7 \text{ кг/см}^2$ ($0,5 \div 0,7 \text{ МПа}$) - 1 ступінь;
- при стисканні до $2,5 \text{ кг/см}^2$ ($2,5 \text{ МПа}$) - 2 ступеня;
- при стискання до 125 кг/см^2 ($12,5 \text{ МПа}$) - 3 ступеня;
- понад 125 кг/см^2 ($12,5 \text{ МПа}$) - 4 і більше ступенів.

Приклад: необхідно стиснути повітря ($p_{\text{поч}}=p_1=p_a=1 \text{ кг/см}^2$) до $p_{\text{кін}}=64 \text{ кг/см}^2$. Приймають три ступені компресора.

Ступінь стискання дорівнює $E = \sqrt[3]{\frac{64}{1}} = 4$

У I ступені повітря стиснуте до 4; в II - до 16; в III - до 64 кг/см^2 . Аналіз pV -діаграми показує:

- обсяг газу в кожному наступному ступені зменшується; при цьому обсяг циліндра кожного ступеня повинен бути меншим за попередній на величину

$$E = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_2}{V_3} = \frac{V_3}{V_4};$$

- робота, проведена при багатоступінчастому стисканні менше, ніж при одноступінчастому (площа $a-1-2-3-4-5-6-d-a$ менше площі $a-i-e-d-a$)
- зі збільшенням кількості ступенів процес стискання наближається до ізотермічного.

Можливі схеми багатоступінчастих поршневих компресорів наведені на рис. 68.

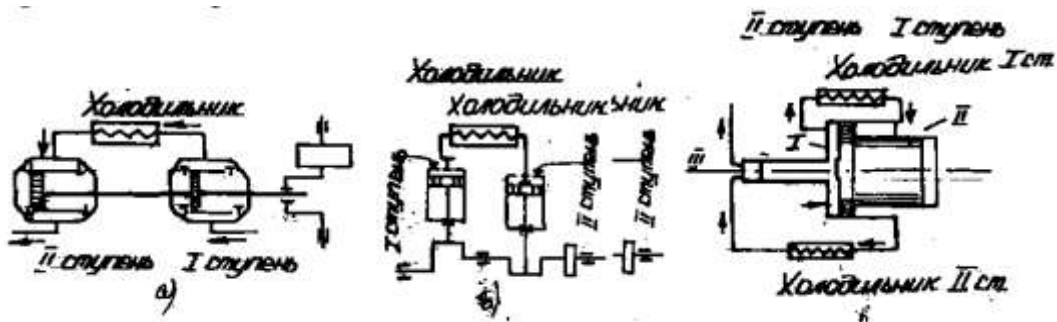


Рис. 68 - Схеми багатоступінчастих поршневих компресорів
 а - з послідовним з'єднанням циліндрів; б - з паралельно з'єднаними циліндрами; г - с диференціальними поршнями й декількома ступенями стискання в одному циліндрі

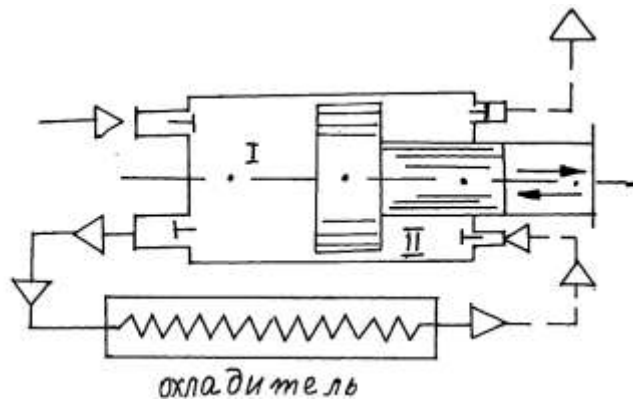


Рис. 69 - Схема двоступінчастого компресора прямого типу з диференціальним поршнем

Продуктивність компресора

Теоретична продуктивність поршневих компресорів визначається обсягом циліндрів (усмоктуваним обсягом повітря за одиницю часу).

Подача компресора простої дії, V_m м³/хв:

$$V_m = F \cdot S \cdot n.$$

Компресори подвійної дії, V_m м³/хв:

$$V_m = (2F - f) S \cdot n.$$

Багатоциліндрові простої дії V_m м³/хв:

$$V_m = F \cdot S \cdot n \cdot i,$$

де F - площа поршня, м²;

S - площа штока поршня, м²

i - кількість циліндрів;

n - кількість обертів вала у хвилину, об/хв.

Дійсна об'ємна продуктивність компресора V , м³/хв:

$$V = \lambda_0 \cdot V_m$$

Продуктивність компресора функціонально визначається низкою факторів, при чому одним з основних є робочий обсяг циліндра V_p , м³:

$$V_p = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S,$$

де D - діаметр циліндра, м.

На продуктивність компресора впливають: величина мертвого обсягу V_M , що оцінюється за допомогою відносного обсягом мертвого простору $a = \frac{V_M}{V_p}$,

величина ступеня стискання $E = \frac{p_2}{p_1}$ й ін

$$Q = f(a; E; V_p; \lambda; n)$$

Підвищення ступеня стискання (при заданому V_M) зменшує продуктивність. Продуктивність компресора Q , м³/хв, з одним циліндром:

$$Q = V_p \cdot n,$$

де n — кількість подвійних ходів поршня у хвилину.

Продуктивність багатоциліндрових компресорів визначають за формулою, де V_p - сумарний обсяг циліндрів.

Теоретична характеристика компресора $Q-p$, як це витікає зі структури формули - пряма лінія, паралельна осі ординат (рис. 70) — пунктирні лінії.

При роботі компресора на трубопровід із тиском, що змінюється (характеристика *мережі* $Q-p_{мережі}$ - параболічна лінія) компресор має змінний ступінь *стискання* E и, отже змінну продуктивність.

Чим вище кінцевий тиск компресора p_2 , тим вищим буде ступінь стискання $E = \frac{p_2}{p_1}$ і менше продуктивність Q .

Дійсна характеристика компресора $Q-p$ (за заданої кількості обертів n) - крива, що відхиляється від вертикалі до початку осі абсцис - суцільні похилі лінії $Q-p$.

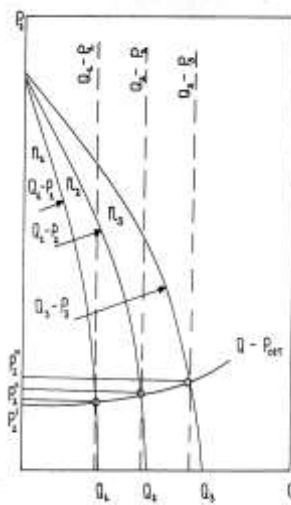


Рис. 70 - Теоретична характеристика компресора $Q-p$

За різної кількості обертів n ($n_1; n_2; n_3$) — група кривих:

$$Q_{1-p1}; Q_{2-p2}; Q_{3-p3}.$$

Визначення розрахункових параметрів роботи компресора на заданий повітровід проводиться залежно від кількості обертів графічним методом; як точка перетинання двох характеристик: компресора і повітроводу.

Регулювання продуктивності поршневих компресорів

Залежно від споживання повітря продуктивність може змінюватися в широких межах.

Регулювання подачі за постійної кількості обертів:

- впливом на усмоктувальні клапани;
- зміною величини шкідливого простору;
- зміною початку стискання повітря;
- дроселюванням усмоктувального трубопроводу;
- перепуск газу з нагнітальної труби до усмоктувальної.

При приводі компресора від двигунів внутрішнього згоряння або парової машини регулювання продуктивності виконують зміною кількості обертів.

Оскільки компресори добирають із огляду на розрахункову подачу стисненого газу, яка трохи перевищує максимальну витрату газу споживачами, регулювання продуктивності найчастіше спрямовано на зниження подачі й відновлення балансу енергій при зниженні 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.

На практиці застосовують повне відкриття усмоктувальних клапанів на частині ходу поршня.

Регулювання подачі можна робити за рахунок пристрою змінного шкідливого простору компресора, що дозволяє відключити або підключити, у разі необхідності, частину цього простору в робочий процес. Збільшення шкідливого простору призводить до зменшення подачі компресора.

Регулювання подачі зміною початку стискання здійснюють за допомогою спеціального крана, що забезпечує перетікання газу з циліндра до усмоктувальної труби при зворотному ході поршня, при цьому подача зменшується залежно від ступеня відкриття крана.

Регулювання подачі дроселюванням на усмоктуванні виконують шляхом введення регулюючого опору, що знижує тиск при усмоктуванні від p_1 до $p_{1рег}$. При цьому зменшується усмоктуваний обсяг газу та зменшується подача компресора.

Регулювання подачі за рахунок перепуску частини газу з напірної труби до усмоктувальну здійснюють обвідним трубопроводом за допомогою байпасного вентиля. При цьому подача зменшується.

Ротаційні компресори

Ротаційні компресори, як і поршневі, працюють за принципом витиснення. При обертанні ротора таких машин усередині корпуса утворюються дві камери (порожнини), обсяг яких змінюється.

З одного боку машини обсяг порожнини збільшується (тиск падає), відбувається усмоктування газу; з другого боку - зменшується (тиск зростає) - нагнітання.

Ротаційні компресори й повітродувки (завдяки відсутності зворотно-поступального руху поршня) порівняно з поршневими машинами мають урівноважений хід, рівномірну подачу, відсутність клапанів.

Широко застосовуються як компресори, повітродувки і вакуум-насоси два типи ротаційних машин:

- пластинчасті (рис. 71);
- з обертовими поршнями.

Подача пластинчастого компресора Q , м³/с:

$$Q = l \cdot (\pi D - S \cdot z) 2E \cdot \frac{n}{60} \cdot \lambda,$$

де l - довжина ротора, м; $l = (1,2 \div 2)D$;

D - діаметр циліндра, м;

S -товщина пластини, м; $S=(0,001\div 0,004)$ м;

z - кількість пластин;

E - ексцентриситет, м; $E=(0,05\div 0,1)D$;

n - частота обертання ротора, хв^{-1} ;

λ - коефіцієнт подачі; $\lambda=0,6\div 0,8$.

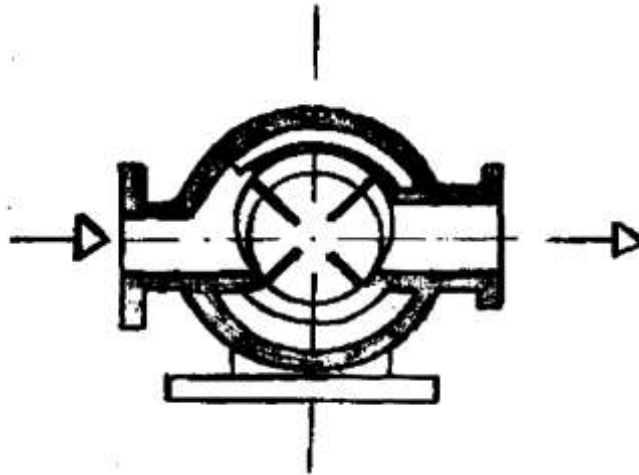


Рис. 71 – Пластинчаста ротаційна машина

Подача повітрорудки із двома обертовими поршнями Q , $\text{м}^3/\text{с}$:

$$Q = 2F \cdot l \cdot \frac{n}{60} \cdot \lambda,$$

Де F - площа, що зметається одним поршнем, м^2 ; $F = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}$;

l - довжина роторів, м;

λ - коефіцієнт подачі;

n - частота обертання, хв^{-1} .

Регулювання продуктивності ротаційних компресорів:

- зміною кількості обертів ротора n ;
- дроселюванням на вході в компресор;
- перепуск стисненого газу в усмоктувальний трубопровід.

Водокільцеві насоси застосовують для створення вакууму, відсмоктування повітря й технічних газів (рис. 72).

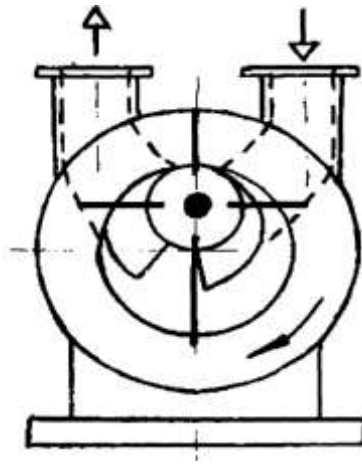


Рис. 72 - Водокільцевий насос

Ексцентрично розташована крилатка (ротор) обертається усередині циліндричного корпусу, заповненого водою. За рахунок відцентрових сил вода відкидається до периферії корпусу, утворюючи в його центральній частині порожнину, що формує два обсяги: що розширюється в бік обертання ротора - усмоктувальний, і стискувальний - напірний.

Водокільцеві вакуумні гідромашини можуть всмоктувати й переміщувати як гази, так і краплинні рідини, застосовуються для створення вакууму й відсмоктування газів у технологічних процесах, входять до складу вакуум-систем насосних станцій для заповнення відцентрових і вісьових насосів водою перед пуском.

Теоретично за повного закриття дроселя на усмоктувальній трубі водокільцевий насос здатний створити в усмоктувальній порожнині тиск, рівний тиску паротворення p_n .

Вакуум, що розвиває насосом $p_{вак}$ %:

$$p_{вак} = \frac{p_a - p_n}{p_a} \cdot 100,$$

де p_a - атмосферний тиск, кг/см^2 ; $p_a = f_1(H_0)$;

p_n - тиск паротворення, кг/см^2 ; $p_n = f_2(t_e^\circ\text{C})$.

На практиці максимальний вакуум становить до 92 %.

Продуктивність водокільцевого вакуум-насоса Q , $\text{м}^3/\text{с}$:

$$Q = \left\{ \pi \left[\left(\frac{D_2}{2} - a \right)^2 - \left(\frac{D_1}{2} \right)^2 \right] - z(l - a)S \right\} \frac{\pi n}{60} \eta_0$$

де D_2 і D_1 — зовнішній і внутрішній діаметр ротора (крилатки), м;

a — мінімальне занурення лопаті у водяне кільце, м;

z - кількість лопатів;

l - радіальна довжина лопаті, м; $l = \frac{D_2 - D_1}{2}$;

S - товщина лопаті, м;

b - ширина лопаті, м;

n - кількість обертів ротора у хвилину, хв^{-1} ;

η_0 - об'ємний ККД; $\eta_0 \approx 0,96$.

Лопатеві компресори

Відцентрові повітродувки й компресори (принцип відцентрових насосів) - стискання повітря (газу) відбувається під дією відцентрових сил, що розвиваються при обертанні робочих коліс.

Відцентрові повітродувки бувають одноступінчаті й багатоступінчаті.

Багатоступінчаті турбоповітродувки розраховані на тиск до 3 ат. Турбокомпресори розвивають тиск понад 3 ат. (до 10 ат).

Напір у повітродувках визначають за формулою:

$$H = \int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{\gamma} = \frac{p_2 - p_1}{\gamma}$$

Кожне колесо розвиває напір H , м. ст. газу:

$$H = \psi \frac{u_2^2}{2g},$$

де ψ - коефіцієнт напору;

u_2 - окружна швидкість обертання робочого колеса.

Турбоповітродувки працюють без охолодження при стисканні газу.

Турбокомпресори розраховані на охолодження газу після кожного ступеня.

Охолодження газу при стисканні дозволяє:

- збільшити кінцевий тиск стискання (за рахунок збільшення щільності газу);

- зменшити витрату енергії завдяки наближенню процесу стискання до ізотермічного.

Охолодження ефективно при $E = \frac{p}{p_0} > 4,5$.

Охолодження можливе:

- за допомогою водяної сорочки (машини малої продуктивності);
- з проміжним охолодженням.

Проміжне охолодження буває:

- зовнішнє (холодильники розташовані поза корпусом);
- внутрішнє (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 η_{nie} і продуктивність $\eta_{nie}=f(V)$ при $n=const$. (рис. 73).

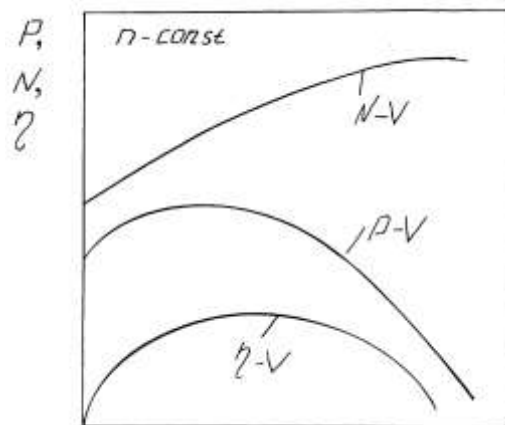


Рис. 73 – Графік характеристик турбоповітродувки

Характеристики турбоповітродувок (також як і ВЦН) одержують шляхом випробувань на заводському стенді або безпосередньо на установці.

Визначається напірна характеристика при повністю відкритій дросельній заслінці в усмоктувальному патрубку, а також за різних її положень. Регулювання продуктивності здійснюють за допомогою засувки на нагнітальній трубі. Замірюють: продуктивність V , м³/хв. за допомогою діафрагми; тиск p_0 й температуру t у нагнітальному патрубку і кількість обертів вала n (за допомогою тахометра). Потужність N , яка споживається турбоповітродувкою, визначається підрахунком l .

Робочий режим турбоповітряної машини (як і ВЦН) визначається сполученням її характеристики з характеристикою мережі.

Характеристика мережі залежить від опору трубопроводів, арматури й приладів, через які переміщується газ.

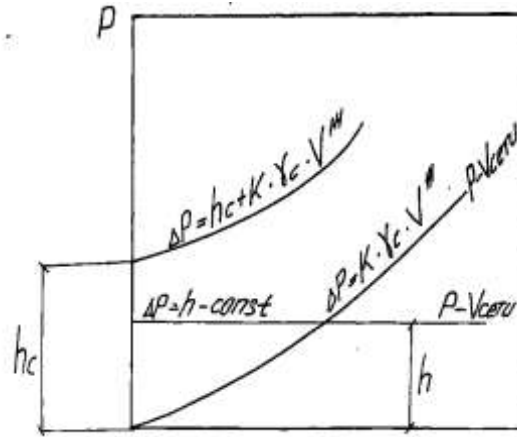


Рис. 74 – Графіки характеристики мережі

Характеристики мережі бувають декількох типів (рис. 74).

1) Опір мережі залежить тільки від гідравлічних опорів. Подоланий тиск у мережі відповідає закону:

$$\Delta p = K \cdot \gamma_c \cdot V^m,$$

де ступінь $m = 2$ - (квадратичний закон опору);

K - коефіцієнт, постійний для даної мережі;

γ_c - середня питома вага газу в мережі, кг/м^3 ;

V - подача, $\text{м}^3/\text{с}$.

Характеристика мережі - крива, що проходить через початок координат.

2) Якщо в мережі є протитиск - опір мережі залишається постійним:

$$\Delta p = h = const,$$

Характеристика мережі - горизонтальна лінія, паралельна осі абсцис.

3) Коли обидва види опорів складаються, ураховується як протитиск, так і подоланий тиск

$$\Delta p = h + K \cdot \gamma_c \cdot V^m,$$

Характеристика мережі може змінюватися залежно від протитиску h , опору трубопроводу, зміни питомої ваги газу в мережі.

Пересікання характеристик турбоповітродувки й мережі – робоча точка установки A . Тут тиск, що створюється повітродувкою дорівнює опору мережі. На рис. 75 подана методика визначення основних параметрів (V ; p ; N ; η) для трьох можливих характеристик повітроводів (мережі) - точки A_1, A_2, A_3 .

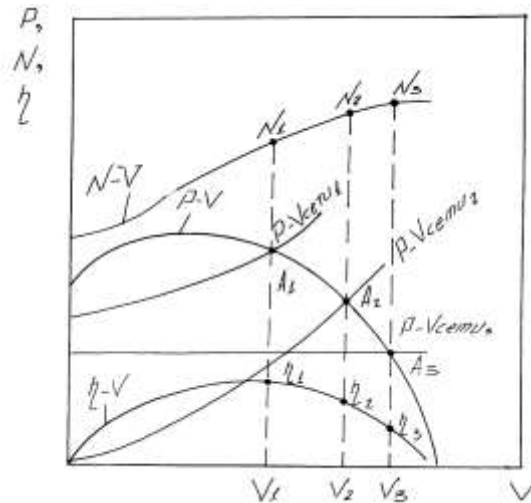


Рис. 75 - Методика визначення основних параметрів (V ; p ; N ; η) для трьох можливих характеристик повітроводів

Область нестійкої роботи повітродувки. Зі зростанням протитиску (p - V мережі) подача повітродувки зменшується (рис. 76).

У т. K повітродувка розвиває максимальний тиск. За подальшого збільшення протитиску (p - V мережі) — подача припиняється.

Робота повітродувки нестійка, коли т. A перебуває на висхідній гілці p - V . За однакового протитиску (p - V мережі) - подача різна, при чому $V_A > V_A$ - можливе коливання подачі.

У спадній гілці характеристики (праворуч від т. K) робота повітродувки стійка - подача змінюється відповідно до зміни споживання й далі залишається стабільною.

На ділянці BK при зниженні споживання газу протитиск максимальний - p_k ; при подальшому зниженні 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} - тиск 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.

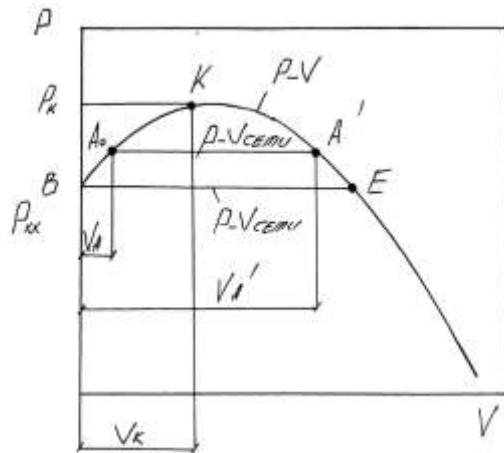


Рис. 76 - Графік характеристики нестійкої роботи повітродувки

Зона нестійкої роботи повітродувки, коли подача менше за критичне $V < V_{кр}$.

Попередження нестійкого режиму роботи повітродувки, у разі необхідності малих подач газу споживачеві - випуск надлишкової кількості газу байпасною лінією або до атмосфери.

Регулювання турбоповітродувок і компресорів

Залежно від споживача стисненого газу можливі наступні способи регулювання їхньої роботи (рис. 77):

- підтримка сталості кількості газу, що нагнітається ($V=const$);
- підтримка сталості тиску газу, що нагнітається, ($p=const$).

Регулювання режиму роботи повітродувок відбувається:

- шляхом штучної зміни характеристики мережі;
- шляхом зміни характеристики повітродувки.

Регулювання зміною характеристики мережі передбачає:

- дроселювання газу, що нагнітається;
- дроселювання газу, який усмоктується.

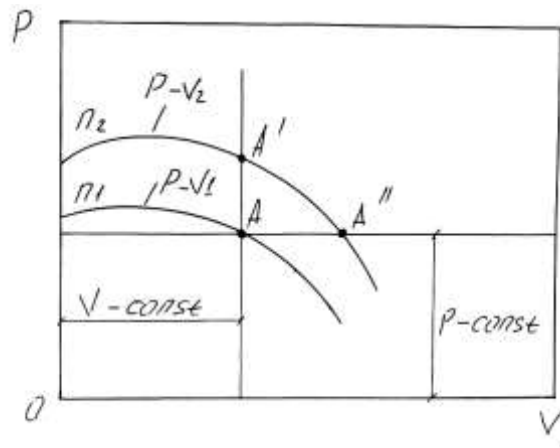


Рис. 77 – Регулювання роботи турбоповітродувок і компресорів

Дроселювання на напірному трубопроводі (рис. 78) здійснюють за рахунок створення додаткового опору в повітродувці прикриттям засувки (дроселя). При цьому характеристики мережі змінюють положення на графіку $p-V$ з OA на OA' . Новій робочій точці A' відповідають змінені значення V_A і $p_o = p_o + h_d$ (h_d — втрати тиску в засувці).

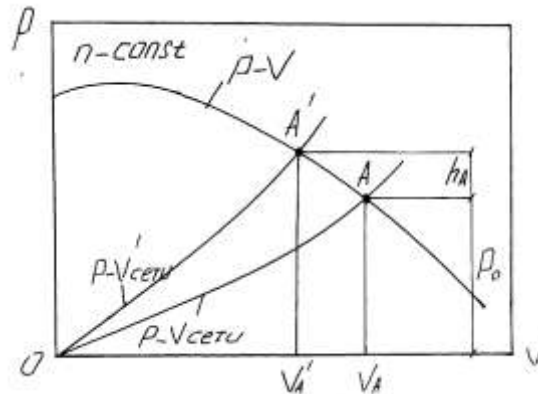


Рис. 78 - Дроселювання на напірному трубопроводі

При дроселюванні усмоктуваного газу (рис. 79) змінюють характеристику повітродувки за рахунок зменшення тиску усмоктуваного газу прикриттям дроселя. Показано характеристики повітродувки до дроселювання $p-V$; $N-V$ і характеристики усмоктувального трубопроводу $p-V_{yc}$.

Точці A на $p-V$ характеристиці відповідають:

- кінцевий тиск p ;
- обсяг V_o , доведений до тиску p_o (початковий тиск);
- споживана потужність N .

Точка B на характеристиці $p-V_{yc}$ - проекція т. A при дроселюванні усмоктувального патрубку повітродувки прикриттям клапана.

Введення додаткового опору при усмоктуванні змінює характеристику усмоктувального трубопроводу з положення $p-V_{yc}$ (горизонтальна лінія $O'B$) на $p-V_{yc}$ (похила лінія $O'd$).

При V_o тиск в усмоктувальному патрубку змінюється від p_o до p_o' Різниця тиску після прикриття дроселя:

$$p_o - p_o' = h_w - \text{утрати тиску за рахунок додаткового опору клапана.}$$

Для визначення нової режимної точки A' (і інших параметрів) із к. O проводять промені (пунктирні лінії) до точок A, B, N .

Точка перетину променя OB із характеристикою $p-V_{yc}$ (лінія $O'd$) визначає положення т. B' Перпендикуляр, відновлений з т. B перетинає промені OA, ON у точках A' й N' , що відповідають новим значенням параметрів $V_o; p'; N'$.

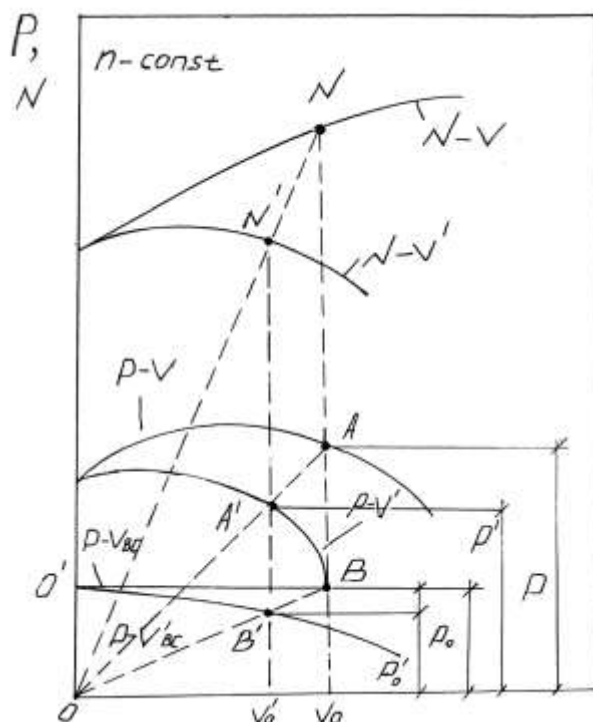


Рис. 79 - Зміна характеристики повітродувки за рахунок зменшення тиску усмоктуваного газу прикриттям дроселя

Обробивши зазначеним методом кілька характерних точок одержують нові характеристики $p-V$ й $N-V$, що відповідають ступеню прикриття засувки

при усмоктуванні (наведені характеристики повітродувки до певного положення дроселя при усмоктуванні).

На рис. 80 показані наведені характеристики $p-V$ і $N-V$ для різних положень дросельної заслінки.

Криві I відповідають повному відкриттю дроселя; II й III - при його різних прикриттях.

Регулювання зміною кількості обертів може застосовуватися в тих випадках, коли двигун здатний змінювати кількість обертів без спеціального устаткування ефективно й економічно обгрунтовано.

На рис. 81 показано низку характеристик за різної кількості обертів.

Перерахування характеристик на інші кількості обертів заснований на використанні рівнянь теорії подоби лопатевих гідромашин.

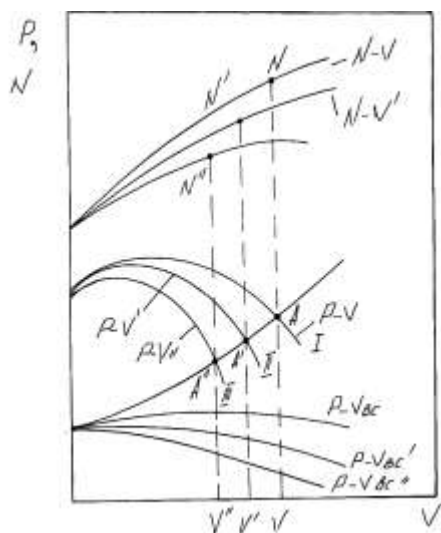


Рис. 80 - Характеристики $p-V$ і $N-V$ для різних положень дросельної заслінки
Крива OA_1A_2 - парабола подібних режимів.

Регулювання за допомогою поворотних лопатнів на вході або виході з робочого колеса за економічністю наближається до регулювання шляхом зміни кількості обертів.

Спільна робота турбоповітродувки у групі повітродувних агрегатів може бути паралельною або послідовною.

Паралельна установка повітродувки у машинній залі повітродувних станцій застосовується для збільшення продуктивності системи. Послідовне розташування повітродувки застосовують для підвищення тиску в системі.

На рис. 82 наведений графік характеристик паралельної роботи двох повітродувок однієї марки й повітродувної мережі $p-V_{\text{мережі}}$

Сумарна характеристика двох повітродувок $p-V_{I+II}$ — отримується шляхом додавання подач за постійного тиску.

Загальна подача V_A при паралельній роботі завжди менша за суму продуктивності двох повітродувок (у випадку їхньої роботи на ту ж мережу: $V_A < 2V_A$).

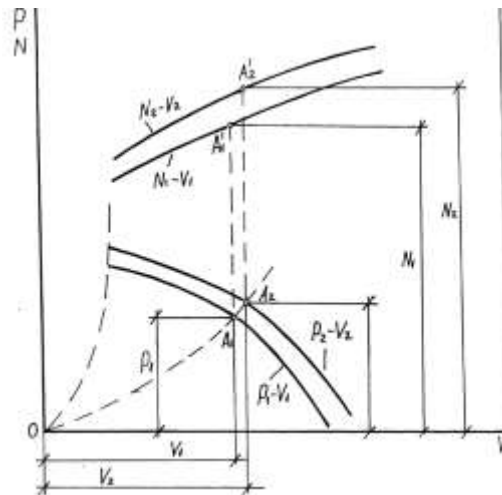


Рис. 81 - Характеристики роботи турбоповітродувок за різної кількості обертів

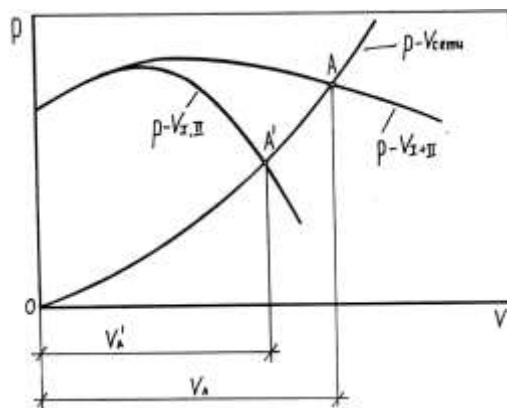


Рис. 82 - Графік характеристик паралельної роботи двох повітродувок однієї марки й повітродувної мережі $p-V_{\text{мережі}}$

На нагнітальних патрубках кожної з повітродувок установлюють зворотні клапани, що відкриваються в тому випадку, коли тиск, що розвивається повітродувкою, стане рівним тиску в мережі.

Система охолодження

На станціях з багатоступінчатими компресорами застосовують додаткове устаткування - охолоджувачі газу (холодильники).

Холодильники розташовуються між ступенями компресора.

У компресорних установках невеликої продуктивності охолоджувачі розміщуються на циліндровому блоці компресора, в установках великої продуктивності - у вигляді апаратів, що стоять окремо.

Охолоджувачі становлять трубчаті вертикальні або горизонтальні теплообмінники.

Холодильник проміжного охолодження газу - сталевий резервуар, усередині якого розташовані латунні (мідні) трубки.

Холодильники бувають двох типів:

- 1). по трубках циркулює охолоджена вода;
- 2). по трубках рухається газ (компресори високого тиску).

На рис. 83 показана схема проміжного холодильника з кожухом трубного типу (на тиск до 30 атм).

До складу устаткування повітродувних станцій входить система *зворотного охолодження*. Нагріта вода охолоджується за допомогою бризкальних басейнів або градирень, а потім повертається до системи охолодження устаткування.

Температура зворотної води не повинна бути більше 25 °С.

Насоси зворотного водопостачання розраховуються на напір 15÷25 м.

Охолодні сорочки компресорів не повинні перебувати під тиском більше 1 атм. У такому випадку регулюючі вентилі встановлюють тільки на трубах, що підводять, скидання нагрітої води вільний (рух самопливний) до відкритої вирви (контроль наявності води в системі).

При подачі води під тиском встановлюють сигнальну трубку з відкритим зливом. На станції передбачають резервний бак, ємність якого розраховується на витрату води протягом 0,5 години.

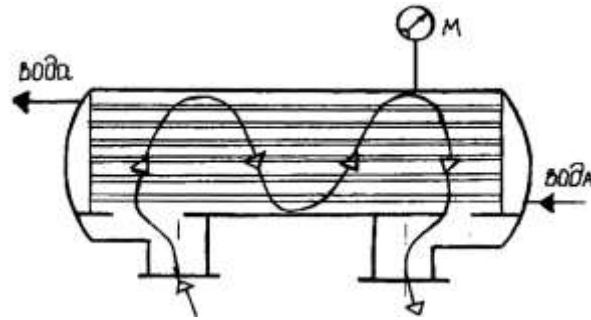


Рис. 83 - Схема проміжного холодильника з кожухом трубного типу
Система постачання мастила

Змащення циліндрів поршневих компресорів забезпечує:

- попередження зношування циліндрів;
- герметичність поршневих кілець;
- зменшення роботи сил тертя.

Змащення циліндрів повітряних компресорів здійснюється за допомогою спеціальних компресорних мастил (температура спалаху не нижче 240°C).

Змащення кисневих компресорів (вибухонебезпечність) виконується дистильованою водою з додаванням (6-8%) технічного гліцерину.

Змащення має бути достатнім, але не рясним, тому що в останньому випадку утвориться нагар, перегрів й утворення вибухової суміші.

Змащення циліндрів бувають:

- змащення розбризкуванням;
- подача мастил під тиском (циркуляційна система змащення з відстоюванням і фільтрацією).

Для зберігання мастила передбачають окреме приміщення з резервуарами. У разі необхідності мастило перекачується у видаткові баки.

Відпрацьоване мастило стікає у збірний бак із фільтрацією й відстоюванням, після фільтрації й очищення мастило охолоджується в трубчатому холодильнику.

Температура мастила не повинно перевищувати 50 - 60°C.

На станціях, укомплектованих повітродувками застосовують циркуляційне змащення підшипників під тиском (0,5÷1,8 кг/см²). Турбоповітродувки, на відміну від поршневих компресорів, не вимагають внутрішнього змащення.

Компонування повітродувних станцій

Компонування основного й допоміжного устаткування повітродувних станцій аналогічні компонуванню насосних станцій.

За продуктивності повітродувних станцій $Q_{yc} > 5000 \text{ м}^3/\text{год}$. стисненого повітря передбачена установка не менше двох компресорних агрегатів. За кількості робочих агрегатів до трьох установлюється один резервний агрегат; при більшій кількості робочих компресорів - два резервних.

Основна увага зосереджується на розміщенні устаткування в машинній залі станції в такий спосіб, щоб забезпечити зручне й безпечне обслуговування в період експлуатації й на час проведення ремонтних робіт із монтажу й демонтажу елементів та устаткування.

Проектується підйомно-транспортне устаткування, вантажопідйомність якого відповідає масі найбільш важких елементів і монтажні майданчика у приміщенні машинної зали станції.

Комунікації повітродувних станцій

Повітропроводи виконують зі сталевих (зварених або суцільнотягнутих) труб на зварюванні. Фланцеві з'єднання - у місцях установлення арматури.

Застосовують азбестові або клінгеритові прокладки. За високого тиску - латунь, алюміній. Якість фланцевих з'єднань повітропроводів має велике значення при експлуатації системи.

Для сприйняття температурних розширень на повітропроводах установлюють компенсатори. Уважають, що на кожні 100°C зміни температури труби подовжуються на 1,3 мм/1п. м.

Між компенсаторами встановлюють нерухомі опори.

У середині будівлі станції труби розміщують під підлогою або в підвальному приміщенні. За межами станції повітропроводи можуть прокладатися відкрито (на опорах) або в каналах (разом із водопроводом й іншими комунікаціями).

Як запірні арматури застосовують:

- чавунні вентиля при тиску до $8 - 13 \text{ кг/см}^2$ ($d_y = 500 - 200$);

➤ сталеві засувки й вентиля для високих тисків.

На станціях із поршневими компресорами влучення масла в повітропровід становить небезпеку вибуху внаслідок запалення продуктів розкладання мастила. Для видалення конденсату й мастила повітроводи проектують із ухилом убік руху повітря, $i = 0,003 - 0,004$. На низьких ділянках установлюють мастиловодо відокремлювачі. Повітроводи перед експлуатацією піддають гідравлічним випробуванням на тиск, що перевищує робочий: $p_v = 2,5 p_p$.

Визначення діаметрів повітроводів проводиться за розрахунковими витратами стисненого повітря на окремих ділянках мережі за формулами гідравліки. Втрата тиску на ділянці від компресора до найбільш віддаленого споживача повітря не має перевищувати 5-8% робочого тиску.

Розрахунок повітроводів проводиться для визначення діаметрів труб $d_{повітр}$ і втрат напору (тиску) у мережі, із урахуванням стискання повітря й підвищення його температури.

При розрахунку передбачається транспортування стисненого повітря з оптимальними значеннями швидкості V : для магістралей — 10 - 15 м/с; для відгалужень — 4 - 5 м/с.

При розрахунку повітроводів ураховуються робочі параметри системи:

- витрата стисненого повітря спорудами;
- схема повітропровідної мережі;
- довжини й витрати стисненого повітря за окремими ділянками мережі.

Витрата стисненого повітря на ділянці мережі:

$$Q_{стис} = 0,785 \cdot d^2 \cdot v,$$

де d - діаметр труб ділянки, м;

v — швидкість руху стисненого повітря, м/с.

Діаметр труб ділянок повітроводу:

$$d = 6,7 \sqrt{\frac{Q_H (t_{стис} + 273)}{P \cdot v}},$$

де $t_{стис}$ - температура стисненого повітря, °С.

Розрахунковий тиск повітря $H_{заг}$, кг/см²:

$$H_{заг} = h_{ус} + h_{мер} + h_{аер} + h_{ст} + h_{надл} ,$$

де $h_{ус}$ - втрати напору (тиску) у повітроводах усередині станції, кг/м²;

$h_{мер}$ - втрати тиску на тертя в магістралі, кг/м² ;

$h_{аер}$ і $h_{ст}$ — втрати тиску на вхід і вихід з аератора, кг/м² ;

$h_{надл}$ - запас надлишкового тиску ($h_{надл} = 50$ кг/м²).

Втрати тиску на тертя в повітроводі:

$$h_{мер} = \sum \left[\frac{\lambda(l + l_{екв}) \cdot \gamma_{стис} \cdot v^2}{2g \cdot d} \right],$$

де l - довжина ділянки, м;

$l_{екв}$ - еквівалентна довжина на місцеві опори, м.

Коефіцієнт тертя:

$$\lambda = \frac{1,42}{1g \cdot \frac{1,274 \cdot Q_{стис}}{K \cdot v}}$$

де K - коефіцієнт шорсткості (для сталевих труб $K = 0,0001$);

v - кінематичний коефіцієнт стисненого повітря, м²/с.

Приблизно приймають: при d від 100 мм до 1200 мм

$$\lambda = 0,0235 \div 0,0136$$

Для зниження надлишкових напорів у відгалуженнях мережі, де робочий тиск стисненого повітря не може витратитися повністю (навіть при зменшенні діаметрів труб) на цих ділянках установлюють діафрагми.

Діаметр діафрагми визначають за формулою:

$$d_{дф} = \frac{h_{надл} \cdot 2gd}{\xi \cdot \gamma_{стис} \cdot v^2}$$

де $h_{надл}$ - надлишковий напір на відгалуженні, кг/м²;

$\xi_{дф}$ - коефіцієнт місцевого опору діафрагми (при $\xi_{дф}/d$ від 0,8 до 0,33, приймають $\xi_{дф} - 1,5 \div 1,96$).

Завдання для самоперевірки

1. Класифікація й типи насосних станцій.
2. Основне устаткування насосних станцій.
3. Які параметри насосних станцій називають основними?
4. Які типи насосів застосовують у насосних станціях?
5. Висота усмоктування та явище кавітації?
6. Вакуумметрична висота усмоктування.
7. Поняття «характеристики» відцентрового насоса.
8. Як здійснюється оптимізація роботи насоса?
9. Що таке «оптимальні параметри насоса»?
10. «Коефіцієнт швидкохідності насоса» і його значення при виборі основного устаткування насосних станцій?
11. Як впливає «підрізування» робочого колеса й 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 особливості побудови графіків спільної роботи насосів і трубопроводів?
15. Поняття «наведені характеристики насоса».
16. Які основні правила добору необхідної марки насоса для насосних станцій?
17. Наведіть класифікацію насосних станцій водопостачання.
18. Як визначити подачу насосної станції I підйому?
19. Як визначити напір h_c I?
20. Як визначити продуктивність h_c II?
21. Визначити напір h_c II.
22. Які насоси застосовують для водопровідних станцій?
23. Назвіть особливості пристрою усмоктувальних трубопроводів.
24. Яка методика розрахунку й проектування напірних трубопроводів?
25. Яке розміщення арматур на комунікаціях насосної станції.
26. Що входить до складу механічного обладнання?
27. Яке розходження наявне в конструкціях ґрат і сіток, які утримують сміття?

28. Призначення й особливості допоміжного обладнання насосних станцій.
29. Поясніть у чому полягає різниця між кран-балкою та мостовим краном.
30. Які існують системи заливання насосів?
31. Призначення технічного водопостачання насосних станцій.
32. Яке призначення повітродувних станцій у системах водопостачання й каналізації?
33. Класифікація повітродувних станцій за типами основного обладнання.
34. Який склад елементів повітродувної станції?
35. Опишіть принцип роботи поршневих компресорів.
36. Які особливості роботи поршневих компресорів?
37. Що таке «мертвий простір»?
38. Яке призначення ресивера?
39. Схема й принцип дії багатоциліндрових компресорів.
40. Поясніть поняття: ізотермічний, адіабатичний і політропічний процеси стискання газу.
41. Які особливості роботи турбоповітродувок?
42. Схема та принцип роботи багатоступінчатих повітродувок.
43. У чому полягає призначення холодильників (охолоджувачів)?
44. У чому полягають особливості ротаційних компресорів?
45. Яка схема та принцип роботи водокільцевого вакуум-насоса?
46. Яка методика регулювання подачі компресора?
47. У чому полягає розрахунок повітроводів повітродувних станцій?
48. У чому полягають вимоги техніки безпеки при роботі повітродувних станцій?

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Абрамов Н. Н. Водоснабжение. – М.: Стройиздат. 1982
2. Белецкий Б. Ф. Зотов Н. И., Ярославский Л. Я. Конструкции водопроводно-канализационных сооружений. Спр. пособ. – М.: Стройиздат, 1989.
3. Карелин В. Я. Минаев А. В. Насосы и насосные станции. – М.: Стройиздат, 1986.
4. Киселев П. Г. Справочник по гидравлическим расчетам. - М.: Энергия, 1992.
5. Лопастные насосы: Справочник / Под ред. В. А. Зинницкого и В. А. Умова. – Л.: Машиностроение, 1996.
6. Лямаев Б. Ф. Гидроструйные насосы и установки. - Л.: Машиностроение, 1988.
7. Новодережкин Р. А. Насосные станции систем технического водоснабжения ТЭС и АЭС. - М.: Энергоатомиздат, 1989.
8. Попкович Г. С., Гордеев М. А. Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения. – М.: Высшая школа, 1986.
9. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) / Минэнерго. – М.: Энергоиздат, 1987.
10. Рекомендации по применению регулируемого электропривода в системах автоматического управления водопроводных и канализационных установок. М.: ,1997.
11. Сомов М. А. Водопроводные системы и сооружения. М.: Стройиздат, 1988.
12. Шевелев Ф. А. Таблицы для гидравлического расчета стальных, чугунных, асбестоцементных и пластмассовых труб - М.: Стройиздат, 1984.
13. Яковлев С. В. Ласков Ю. М. Канализация. - М.: Стройиздат, 1987.

Навчальне видання

ЯКОВЕНКО Микола Михайлович,
БЄЛЄВА Валентина Михайлівна

Конспект лекцій з дисципліни «Насосні та повітродувні станції»
(для студентів 4 - 5 курсів денної і заочної форм навчання освітньо-
кваліфікаційного рівня бакалавр, напряму підготовки 6.060103- «Гідротехніка
(Водні ресурси)» та слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.092601,
7.06010108 "Водопостачання та водовідведення")

Відповідальний за випуск *С. С. Душкін*

Редактор *О. В. Тарасюк, К. В. Дюкар*

Комп'ютерне верстання *К. А. Алесанян*

План 2010, поз. 60 Л

Підп. до друку 18.01.2012

Друк на різнографі

Зам. №

Формат 60 x 84 /16

Ум. друк. арк. 7,4

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК №4064 від 12.05.2011 р.