

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

**М.М. Яковенко, Ю.П. Тітов**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до практичних занять і самостійної роботи з дисципліни

***"Насосні і повітродувні станції"***

*(для студентів 4, 5 курсів денної і заочної форм навчання  
напрямів підготовки 0926 «Водні ресурси», 6.060103 «Гідротехніка  
(водні ресурси)» спеціальності "Водопостачання та водовідведення")*

Харків  
ХНАМГ  
2010

Методичні вказівки до практичних занять і самостійної роботи з дисципліни "Насосні і повітродувні станції" (для студентів 4, 5 курсів денної, заочної форм навчання напрямів підготовки 0926 «Водні ресурси», 6.060103 «Гідротехніка (водні ресурси)» спеціальності "Водопостачання та водовідведення"). / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: М.М. Яковенко, Ю.П. Тітов. – Х.: ХНАМГ, 2010 - 119 с.

Укладачі: М.М. Яковенко, Ю.П. Тітов

Рецензент: доц. Колотило А.М.

Рекомендовано кафедрою ВВ та ОВ, протокол №1 від 2.09.2009 р.

## ВСТУП

Насоси та водопідіймачі належать до одних з перших механізмів, якими людство користувалося ще довго до нашої ери. Конструктивно вони змінювались від найпростіших: вороти, „Журавлі”, водопідіймальні колеса до сучасних різноманітних насосів.

У стародавній Греції та Римі використовувались поршневі насоси для викачування води з трюмів кораблів.

Ідея відцентрового насоса виникла ще в XVII сторіччі.

Розповсюдження відцентрових насосів довго стримувалося відсутністю швидкісних двигунів. Коли з'явилися електродвигуни почалося широке розповсюдження відцентрових, а трохи згодом і осьових насосів.

Значний вклад у розвиток теорії насосів та практики їх використання внесли такі вчені як Г.Ф.Проскура, А.Г.Шухов, С.С.Руднев, А.Є.Караваєв, В.Я.Карелін, М.Г.Малішевський.

Це видання є навчально-методичним посібником з практичних занять з курсу „Насоси і насосні станції”. Вивчення цього курсу потребує від студентів підготовки за рядом загально технічних і спеціальних дисциплін, до яких можна віднести гідравліку, деталі машин і електротехніку.

Навчально-методичний посібник містить у собі теоретичні питання проектування насосних станцій водопостачання (н.с. I і II підйому), а також приклади розрахунків насосних станцій водовідведення.

У додатках наведені справочні матеріали: таблиця Шевелева, характеристики насосів типа Д, СМ, а також монтажні характеристики насосів.

# Модуль 1.

## Насосні станції водопостачання

### *ЗМ 1.1 Насосні станції водопостачання і водовідведення*

Проектування і розрахунок насосних станцій водопостачання полягають у виборі:

- а) основного устаткування насосних станцій (насоси і двигуни);
- б) механічного устаткування (смітнікоутримуючі пристрої, затвори, засувки, клапани, підйомно-транспортні механізми);
- в) допоміжного устаткування:
  - системи технічного водопостачання (СТВ);
  - дренажно-осушувальні системи (ДОС);
  - системи масло забезпечення (СМЗ);
  - системи пневматичного господарства (СПГ);
  - вакуум-системи;
  - контрольно-вимірювальні прилади і системи автоматизації ( $K_{\text{впса}}$ );
  - труби і фасонні частини;
  - електричні пристрої (трансформатори, розподільні пристрої (РП));
  - протипожежні й санітарно-технічні пристрої.

Класифікація насосних станцій водопостачання здійснюється за рядом ознак:

1) за призначенням і розташуванням у системі:

- насосні станції I підйому;
- насосні станції II підйому;
- підвищуючі;
- циркуляційні;

2) за типом основного устаткування:

- з відцентровими горизонтальними чи вертикальними насосами;
- з осьовими чи діагональними насосами;
- з об'ємними насосами;
- з водопідійомниками різних типів;

3) за розташуванням лопатевих насосів щодо рівня води в резервуарі-джерелі:

- з насосами з позитивною висотою ;
- з насосами "під затокою";

4) за розташуванням щодо поверхні землі:

- наземні;
- заглиблені (частково заглиблені чи шахтного типу);
- підземні (обладнані заглибними або артезіанськими насосами);

5) за характером керування:

- з ручним керуванням;
- з автоматичним;
- з дистанційним.

## ОСНОВНЕ УСТАТКУВАННЯ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ

Вибір основного устаткування насосних станцій, конструкції і типу насосів і двигунів може бути здійснений після вирішення наступних питань:

- призначення і розташування насосної станції в системі;
- режим водоспоживання і відповідний йому режим роботи насосної станції (рівномірний чи східчастий);
- продуктивність системи водопостачання;
- тип і розташування джерела водопостачання;
- розрахункові значення основних параметрів станції: продуктивність подачі  $Q$  і напору  $H$ ;
- число робочих і резервних насосів;
- режим роботи станції при пожежі.

У насосних станціях систем водопостачання застосовуються лопатеві насоси (відцентрові й осьові).

За розрахунковими параметрами  $Q$  і  $H$  за допомогою зведеного графіка полів  $Q$ - $H$  необхідного типу насосів ведеться вибір необхідної марки насоса. [1,2].

Вивчають характеристики обраного насоса ( $Q$ - $H$ ;  $Q$ - $N$ ;  $Q$ - $\eta$ ), у тому числі при спільній роботі з водогінною мережею (трубопроводом) і встановлюють заходи щодо забезпечення роботи насосів в області оптимальних значень ККД (обточування робочого колеса, зміна числа обертів).

Обточуванням зміною числа оборотів робочого колеса в допустимих межах можна розширити область застосування насосів.

Границі обточування лопатевих коліс залежно від коефіцієнта швидкості  $n_s$  такі:

$60 < n_s < 120$  -припустиме обточування до 20 %;

$120 < n_s < 200$  -припустиме обточування до 10-15 %;

$200 < n_s < 300$  -припустиме обточування до 7-10 %;

при  $n_s < 300$  обточування не допускається.

У сучасних насосних установках як двигуни застосовують асинхронні електродвигуни змінного струму.

Число оборотів асинхронних електродвигунів (об/хв);

2900, 1450, 975, 730, 580, 480, 360, 290.

Той самий насос залежно від приводного електродвигуна може працювати при різному числі обертів і, відповідно до закону теорії подібності, змінювати тим самим свою характеристику.

## ЛОПАТЕВІ НАСОСИ, ЗАСТОСОВУВАНІ В НАСОСНИХ СТАНЦІЯХ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Консольні насоси типу К (КМ) (рис. 1.1, 1.2)

Позначення:

ДСТ 22 247-76

Приклад: 20/30 чи КМ 20/30

К - консольний;

КМ - консольно-моноблочний з електродвигуном;

20-подача, м<sup>3</sup>/год;

30-напір, м

ДСТ 8337-57

2К-6

2-діаметр вхідного

патрубка, мм, зменшений у 25 разів і округлений

( $d_y^{bx} \approx 50\text{мм}$ )

К- консольний;

6-коефіцієнт швидкохідності, зменшений у 10 разів і округлений ( $n_s \approx 60$ ).

Призначення: для води і чистих нейтральних рідин з рН = 6,5 - 8 і t = 0- 85<sup>0</sup> С (за замовленням - до 105<sup>0</sup>С ).

Загальні характеристики насосів типу К:

Q=5-360 м<sup>3</sup>/год (1,4 -100 л/с);

H=10 - 90 м (тиск 0,1-0,9 Мпа);

ККД = 50 – 84 %;

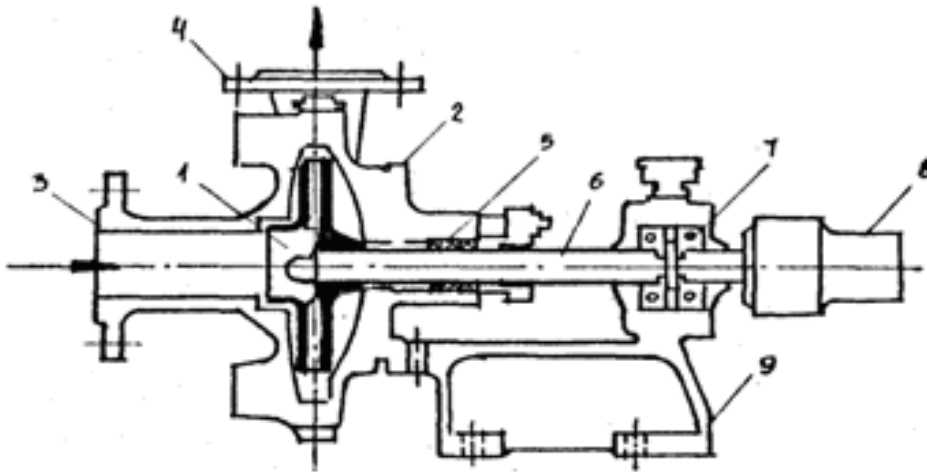
$h_{\text{вак}}^{\text{доп}} = 4-5,5$  м;

$n_s = 60 - 250$ ;

напір на вході - не більше 20 м.

Область застосування:

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



**Рис. 1.1 - Відцентровий консольний насос типу К:**

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

### **Насоси двостороннього входу типу Д**

(рис.1.3)

Позначення:

ДСТ 10 272-77

Приклад: Д 200-95

НД<sub>в</sub>Д- двостороннього входу;

200- подача, м<sup>3</sup>/год;

95- напір, м.

ДСТ 10 272-73

4 НД<sub>в</sub>; 10Д-6 4 - у насосів

діаметр напірного патрубку, мм, зменшений у 25 разів ( $d_y^H = 100\text{мм}$ );

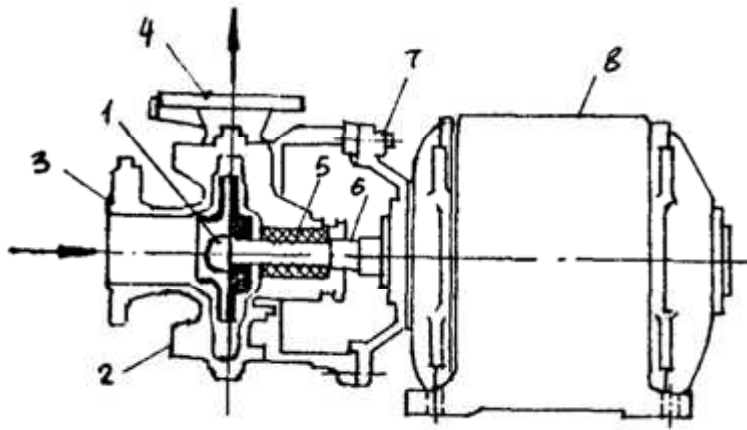
НД- насос двосторонній; Н- низько-, С- середньо-, в- високонапірний.

$d_y^{Bx} = 250\text{мм}$

У насосів Д: 10- діаметр вхідного патрубку, зменшений у 25 разів

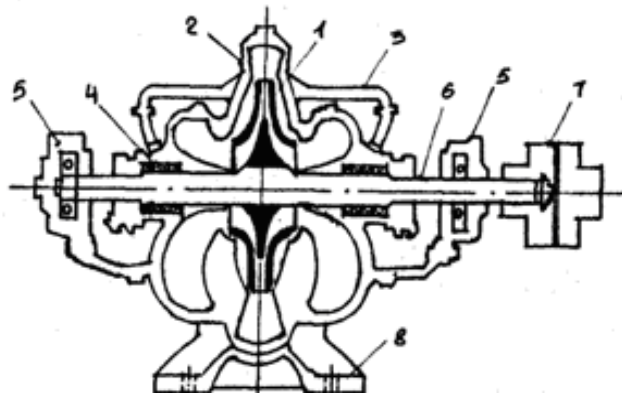
б- коефіцієнт швидкохідності, зменшений у 10 разів ( $n_s \approx 60$ ).





**Рис. 1.2 - Відцентровий моноблочний насос типу КМ:**

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



**Рис. 1.3 - Відцентровий насос двостороннього входу типу Д:**

**1-** робоче колесо; **2-** корпус насоса; **3-** трубка підведення води для гідроущільнення сальників; **4-** щеткове сальникове ущільнення; **5-** підшипник; **6-** вал; **7-** муфта; **8-** опорна станина.

Примітка: для води і чистих рідин з  $t$  до 85 - 100 С.

Загальні характеристики насосів типу В:

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

$H = 14 - 125 \text{ м};$

$\text{ККД} = 73 - 88 \%;$

$h_{\text{вак}}^{\text{доп}} = 3 - 7.5 \text{ м}.$

Область застосування:

- у системах водопостачання (на НСІ і НСІІ);
- у меліорації;
- в іригації.

## Вертикальні насоси типу В

(рис. 1.4)

Позначення:

ДСТ 19740- 74

Приклад: 600В-1.6/100

600- умовний прохід напірного патрубку, мм;

В- вертикальний;

1.6- подача, м<sup>3</sup>/з;

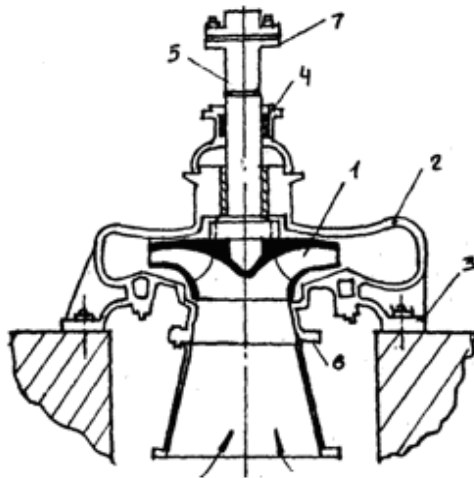
100 напір, м

ДСТ 4241- 62

28В- 12 28- діаметр вхідного патрубку, зменшений у 25 разів

$d_y^{BX} = 250\text{мм}$  В- вертикальний

12 – коефіцієнт швидкості, зменшений у 10 разів



**Рис. 1.4 - Відцентровий насос типу В:**

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

Примітка: для води і чистих рідин з  $t=35\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Загальні характеристики насоса типу В:

$Q= 1.6 - 25\text{ м}^3/\text{з};$

$H= 25 - 100\text{ М};$

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

Область застосування:

- у системах водопостачання на заглибленнях НС1;

- на насосних станціях зрошувальних і судноплавних каналів.

**Багатоступінчасті відцентрові насоси типу ЦНС (ЦНСГ)**  
(рис.1.5)

Позначення:

ДСТ 10 407- 83

ДСТ 10407 –70

ЦНСГ38-44

ЦНС ( ЦНСГ )

Ц - центробіжний;

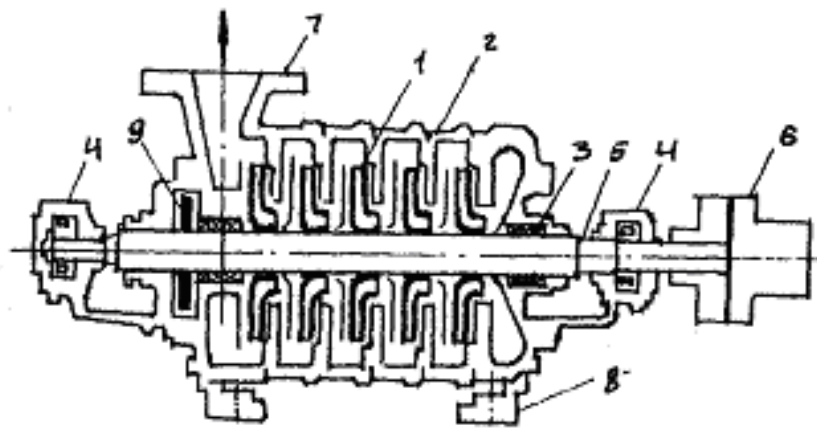
Н - насос;

Г - для гарячої води;

Те ж

38 - подача, м<sup>3</sup>/год;

44 - напір, м.



**Рис. 1.5 - Відцентровий багатоступінчастий насос типу НС:**

- 1** - робочі колеса з лопатками; **2** - корпус; **3** - цепцеве сальникове ущільнення;  
**4** - підшипники; **5** - вал; **6** - муфта; **7** - напірний патрубок; **8** - опорна станина;  
**9** - диск завантаження.

П р и м і т к а: для чистої води з  $t=60 - 105$  °С.

Загальні характеристики насосів типу ЦНС (ЦНСГ):

Число коліс - від 2 до 10 ( бувають нормальні й високооборотні):

$$h_{\text{вак}}^{\text{доп}} = 4 - 7 \text{ м}$$

Нормальні:

Високо оборотні

$Q= 8 - 850$  м<sup>3</sup> /год;

$Q= 38- 1000$  м<sup>3</sup>/год;

$H= 40 - 144$  м;

$H= 136-2000$  м;

ККД= 67 – 77 %;

ККД= 72-80 %;

$h_{\text{вак}}^{\text{доп}} = 4 - 7$  м

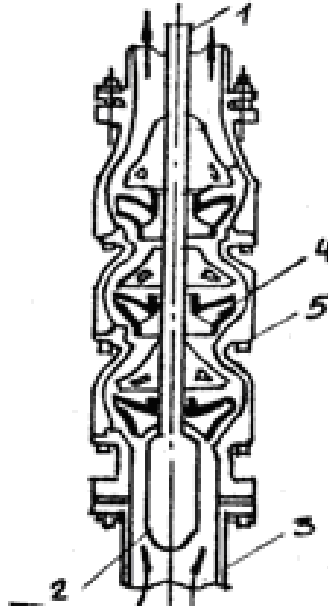
підпір 2-6 м.

Область застосування:

- відкачування води із шахт;
- у високонапірних системах пожежегасіння;
- у висотних будинках і ін.

**Скважинні насоси**  
(рис. 1.6):

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



**Рис. 1.6 - Скважинні насоси:**  
1- вал; 2- обтічник; 3- усмоктувальна труба; 4- робоче колесо;  
5- корпус насоса.

**Насоси з трансмісійним валом**

**(НА, А, АТН ВП)**

Позначення:

ДСТ 14835- 69; АТН-8-І-22

А- артезіанський;

Т - турбінний;

Н - насос;

8 - діаметр обсадної труби для установки насоса, зменшений у 25 разів ( $d_{\text{обс}} = 200 \text{ мм}$ );

І - тип робочого колеса (І- закритого типу);

22 - число робочих коліс.

Загальні характеристики насосів із трансмісійним валом:

глибина води не більше 125 м;

$Q = 30 - 1200 \text{ м}^3/\text{год}$ ;

$H = 3 - 125 \text{ м}$ ;

ККД = 40 – 60 %.

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

$Q = 240 - 280 \text{ м}^3/\text{год}$ ;

$H = 4 - 24 \text{ м}$ .

### **Заглибні насоси**

**( ЭЦВ, АПТ, АП, АПВ, АПВМ, АЭНП, ЭНП )**

(заміняють ЭЦВ)

Позначення

ДСТ 10 428-79 ( -71)

ЭЦВ 8-25-300

Э - електричний;

Ц - відцентровий;

В - для води;

8 - діаметр обсадної труби, зменшеної в 25 разів

( $d_{\text{обс}} = 200 \text{ мм}$ );

25- подача,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

300 - напір, м.

Загальні характеристики заглибних насосів:

для шпар  $d = 100-500 \text{ мм}$ ;

$Q = 0.63-1200 \text{ м}^3/\text{год}$ ;

$H = 12-680 \text{ м}$ ;

Мінералізація до 1500 мг/л;

$\text{pH} = 6.5 - 9.5$ ;  $t^{\circ}$  до  $25^{\circ}\text{C}$ .

Область застосування:

- для підйому води з трубчастих колодязів.

ГНОМ:

Г - грязьовий;

Н - насос;

О - осушувальний;

М - моноблочний;

Q = 14-60 м<sup>3</sup>/год;

H = 10-20 м;

Вода з піском до 10 % за вагою.

### Осьові насоси

(рис. 1.7):

ОВ - осьові вертикальні насоси з жорстко закріпленими лопатками робочого колеса відкритого типу;

ОПВ - осьові вертикальні насоси з ручним приводом повороту лопаток робочого колеса.

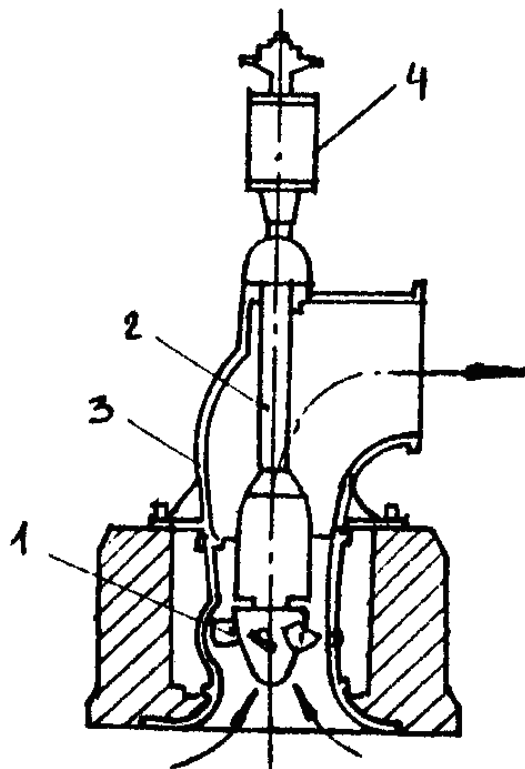


Рис. 1.7 - Осьовий насос типу ОП:

1-лопати; 2-вал; 3-корпус; 4-привод

Позначення:

ДСТ 9366-80  
ОПВ – 2-110ЭГ;  
О – осьовий;  
П – поворотний;  
В – вертикальний;  
2 – модифікація насоса;  
110 – діаметр робочого колеса, см;  
ЭГ – привод розвороту лопаток (ЭГ - з електрогідроприводом).

О и ОП за ДСТ 9366-71  
(Г - з горизонтальним валом )  
У - з вертикальним валом;  
К - з камерним підведенням;  
МК - малогабаритні з камер- підведенням;  
МБК - моноблочні з камерним підведенням;  
Э - з електроприводом розвороту лопаток;  
ЭГ - з електрогідроприводом розвороту лопаток;  
МБ - малогабаритні з електро- гідроприводом розвороту лопаток;  
КЕ- з камерним підведенням і електро- гідроприводом розвороту лопаток;  
МКЕ - малогабаритні з камерним підведенням і з електроприво дом розвороту лопаток.

Примітка: для води з  $t$  до  $35^{\circ}\text{C}$  і утримуючої суспензій до 3000 мг/л (абразивних до 2 %).

Основні характеристики насосів типів ОВ і ОПВ:

$Q = 0.5 - 40 \text{ м}^3/\text{з};$

$H = 2.5 - 23 \text{ м};$

$\text{ККД} = 84 - 86 \text{ \%}.$

Область застосування:

- на теплових електростанціях як циркуляційні насоси;
- у шлюзах;
- в іригаційних системах;
- на НС1 систем водопостачання;
- на каналізаційних станціях.

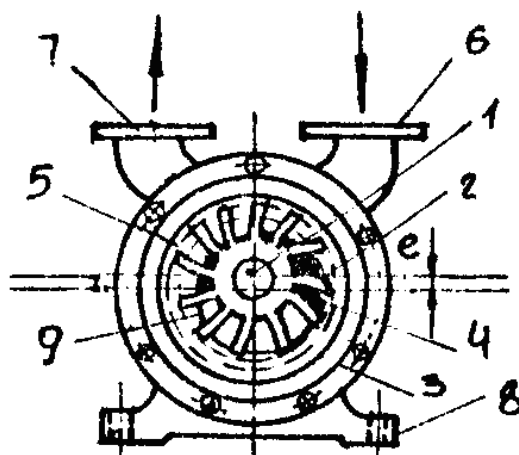
## Водокільцеві вакуумні насоси

(рис. 1.8)

ВВН - водокільцевий вакуум-насос;

ВК - водокільцевий компресор ( повітродувка );

ДВК - водокільцевий вакуум-насос подвійної дії.



**Рис. 1.8 - Водокільцевий вакуум-насос типу ВВН:**

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

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- 10 м;

Максимальний вакуум- 80-97 %.

Область застосування:

- для створення вакууму в основних насосах при заливанні їх перед пуском;
- як повітродувки в технологічному циклі очищення води.



## *ЗМ 1.2. Класифікація насосних станцій водопостачання*

Після вибору за розрахунковими параметрами  $Q$  і  $H$  основного устаткування (насосів і двигунів) виконують компонування будівлі насосної станції. Компонування станції, склад елементів і їхній тип багато в чому визначаються видом джерела водопостачання.

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

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

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

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

- водоприймальні споруди (свердловини, колодязі, горизонтальні водозабори і т.д.);
- скважинні насоси;
- напірні трубопроводи;

До складу елементів насосної станції II підйому входять:

- усмоктувальні труби;
- основне (насоси, двигуни), механічне і допоміжне устаткування;
- напірні трубопроводи;
- колектори усмоктувальних і напірних трубопроводів.

Поділ насосних станцій за розташуванням щодо поверхні землі на наземні, заглиблені і підземні визначається видом джерела водопостачання і рівнем води в ньому.

Наземні будівлі станцій застосовуються при заборі води з поверхневих джерел з невеликими коливаннями рівня води, насоси встановлюють з позитивною висотою всмоктування. Будівлі проектують прямокутними в плані.

Заглиблені станції влаштовують при заборі поверхневих вод зі значним коливанням рівнів води в джерелі, що перевищує допустиму висоту всмоктування насосів.

Будівлі заглиблених насосних станцій складаються з підземної частини і верхньої будівлі; підземна частина станції кругла в плані, верхня будівля - прямокутної форми.

Глибина підземної частини заглиблених станцій визначається розташуванням насосів щодо рівня води в джерелі (резервуарі) – висотою всмоктування насосів чи висотою підпору. Будівлі станцій проектують таким чином, щоб насоси розташовувалися «під затокою» щодо рівня низьких вод у джерелі.

У заглиблених насосних станціях I підйому (рис. 1.9) при установці насосів «під затокою» величина заглиблення станції

$$h_{\text{загл}} = Z_{\text{знс}} - Z_{\text{пмз}} \quad , \quad (1.1)$$

де  $Z_{\text{знс}}$  - оцінка поверхні землі в насосної станції, м;

$Z_{\text{пмз}}$  - оцінка підлоги машинного залу станції, м.

$$Z_{\text{пмз}} = Z_{\text{унв}} - h_{\text{нас}} - h_{\text{рами}} - h_{\text{фунд}} - h_{\text{п}} - 0.5 \quad (1.2)$$

де  $Z_{\text{унв}}$  - оцінка рівня низьких вод у джерелі, м;

$h_{\text{нас}}$  - висота насоса (за каталогом), м; [2]

$h_{\text{рами}}$  – висота рами насоса, м ( $h_{\text{рами}} = 0.2$  м);

$h_{\text{фунд}}$  - висота фундаменту насоса, м ( $h_{\text{фунд}} = 0.5$  м);

$h_{\text{п}}$  - товщина підлоги машинного залу ( $h_{\text{п}} = 0.4$ , м);

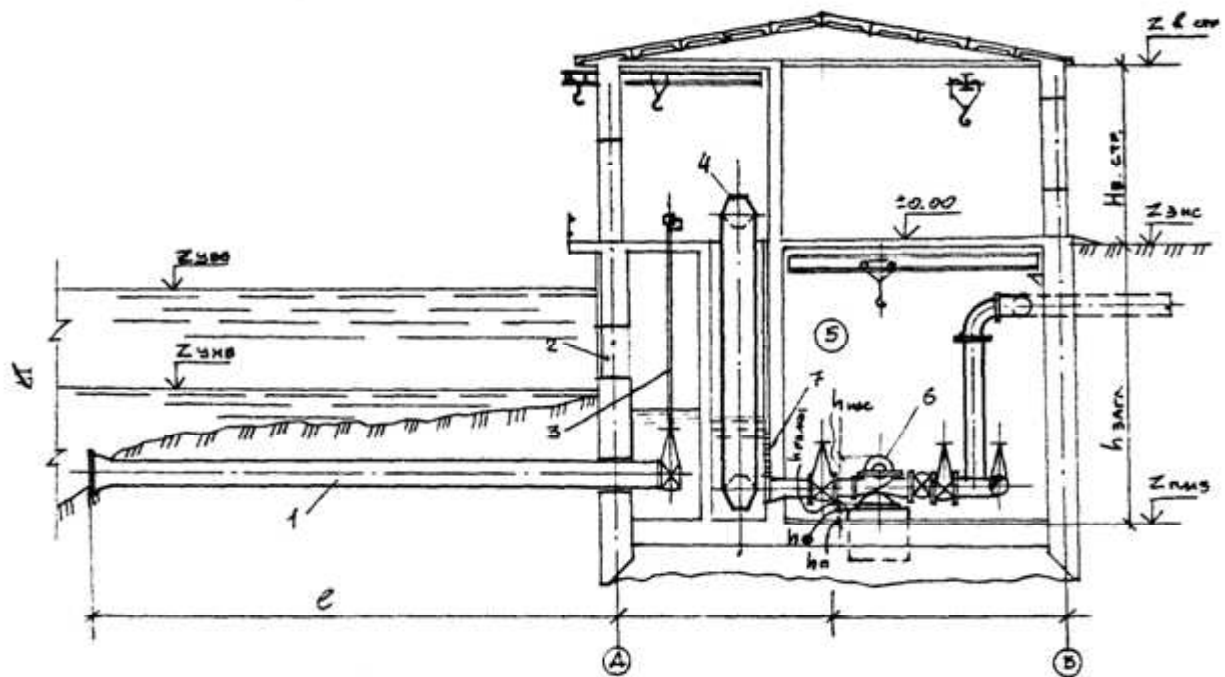
0.5 - запас на зниження рівня води в джерелі, м.

При русловому водозаборі і великій довжині самопливних труб необхідно при обчисленні  $Z_{\text{ТМЗ}}$  врахувати зниження рівня води у водоприймальній камері (стосовно  $Z_{\text{уНВ}}$ ) за рахунок втрат напору в самопливних трубах ( $\eta_{\text{w сам.тр}}$ ).

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

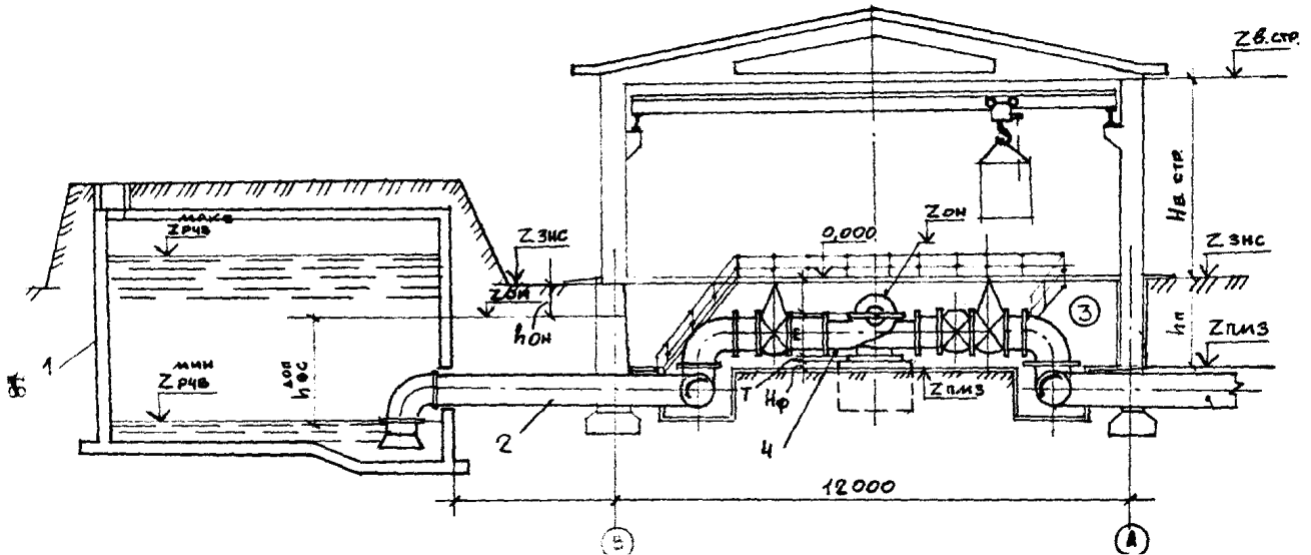
При проектуванні НС II підйому важко домогтися того, щоб насоси знаходилися «під затокою» у широкому діапазоні рівнів води в РЧВ. Так, при максимальному рівні води в РЧВ насоси, як правило, працюють «під затокою», а при мінімальному рівні – з позитивною висотою (рис. 1.10). В останньому випадку необхідно забезпечити припустиму висоту насосів  $\eta_{\text{вс}}^{\text{доп}}$  і передбачити:

- засувки на всмоктувальних лініях насосів;
- заливання насосів перед їхнім пуском (за допомогою насосів чи ежекторів).



**Рис. 1.9 - Насосна станція I підйому:**

- 1 – самопливні труби; 2 – водоприймальні вікна; 3 – водоприймальна камера; 4 – обертові сітки; 5 – машинний зал станції; 6 – насосні агрегати; 7 – ремонтно-аварійний затвор



**Рис. 1.10 - Насосна станція II підйому:**

1 – резервуар чистої води (РЧВ); 2 – усмоктувальні трубопроводи;  
3 – машинний зал станції; 4 – насосні агрегати; 5 - напірні трубопроводи.

Оцінка рівня підлоги машинного залу станції  $Z_{ПМЗ}$  (М):

$$Z_{ПМЗ} = Z_{ЗНС} - \eta_{П}, \quad (1.3)$$

де  $Z_{ЗНС}$  – позначка поверхні землі в насосній станції, м;

$h_{П}$  - розташування рівня підлоги машинного залу стосовно поверхні землі в станції  $Z_{ЗНС}$ , м;

$h_{П}$ , м визначають за формулою

$$h_{П} = h_{ОН} + E + T + H_{Ф}, \quad (1.4)$$

де  $h_{ОН} = Z_{ЗНС} - Z_{Він}$  - розташування осі насоса, м;

$Z_{Він}$  - позначка осі насоса, м;

$E$  - відстань від осі насоса до рами, визначається за каталогом [2] для даного насоса, м;

$T$  - висота рами під насосом, приймається конструктивно;  $T = 0.2$  м;

$H_{Ф}$  - висота фундаменту над рівнем підлоги машинного залу, м.  $H_{Ф} = 0.5$  м.

Оцінка осі насосів НС II підйому  $Z_{Він}$  (м) здійснюється за формулою

$$Z_{Він} = Z_{РЧВ}^{МИН} + h_{ВС}^{ДОП}, \quad (1.5)$$

де  $Z_{РЧВ}^{МИН}$  – оцінка мінімального рівня води в РЧВ, м;

$h_{ВС}^{ДОП}$  – припустима висота всмоктування насоса, м.

Висота всмоктування насоса  $h_{вс}^{доп}$  (м) з коректуванням  $h_{вак}^{доп}$  на місцеві значення  $P_a$   $t^0$  С розраховується за формулою

$$h_{вс}^{доп} = [ h_{вак}^{доп} - (10 + P_a) + (0.24 - h_t) ] - h_{w вс} - V_{вс}^2 / 2g, \quad (1.6)$$

де  $h_{вак}^{доп}$  – припустима вакуумметрична висота насоса, визначається за каталогом для даної марки насоса, м. [2]

У характеристиках насосів, що приводяться в каталогах [2], даються криві припустимої вакуумметричної висоти всмоктування  $\eta_{вак}^{доп}$  залежно від продуктивності ( $h_{вак}^{доп} = f / Q$ ) для даного числа оборотів  $n$ , атмосферного тиску  $P_a = 10$  мм вод. ст. і температури всмоктуваної води  $t = 20^0$  С. При іншому числі оборотів  $n$  також змінюється припустима вакуумметрична висота :

$$h_{вак}^{доп} = 10 - ( 10 - h_{вак}^{доп} ) (n' / n)^2 ;$$

$P_a$  – атмосферний тиск у місці розташування насосної станції, встановлюють за табл. 1.1, залежно від оцінки землі в насосній станції  $Z_{знс}$ , м;

0.24 – пружність насичених пар води, що перекачується, при ( $t = 20$  С, м;

$h_t$  – пружність насичених пар води, що перекачується, за табл. 1.2., залежно від температури  $t^0$  С, м;

$h_{w вс}$  – утрати напору у всмоктувальному трубопроводі, м;

$V_{вс}$  – середня швидкість руху води у всмоктувальній трубі, м/с; може бути визначена за рівнянням:

$$V_{вс} = \frac{4Q_c^{макс}}{\pi \cdot D_{вс}^2} .$$

Т а б л и ц я 1.1

Висота місцевості над рівнем моря, м	-60	0	100	200	300	400	500	600
Атмосферний тиск $P_a$ , м	11,3	10,3	10,2	10,1	10,0	9,8	9,7	9,6
	700	800	900	1000	1500	2000		
	9,5	9,4	9,3	9,2	8,6	8,4		

Т а б л и ц я 1.2

Температура $t, 3^0$	5	10	20	30	40	50	60	70
Тиск насиченої пари $h_t$ , м	0,09	0,12	0,24	0,43	0,75	1,25	2,02	3,17
	80	90	100					
	4,82	7,14	10,33					

Висота верхньої будівлі станцій, не обладнаних підймальними механізмами, приймається не менше 3 м.

Висота приміщення станції з підвісною кран-балкою:

$$h_{\text{в.стр}} \geq h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + 0.5, \quad (1.7)$$

- де  $h_1$  – висота монорейки кран-балки ( $h_1 \approx 0.2$ );  
 $h_2$  – висота від гака до низу монорейки, м ( $h_2 \approx 1.0$ );  
 $h_3$  – висота стропування вантажу, м ( $h_3 \approx 0.5 - 1.0$  м);  
 $h_4$  – висота вантажу, м;  
0.5 – висота від вантажу до підлоги, м

Висота приміщення станції з мостовим краном

$$h_{\text{в.стр}} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + 0.5 + h_{\text{про}} + 0.1, \quad (1.8)$$

- де  $h_1$  – висота над голівкою 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 верха балки, м.

## МЕХАНІЧНЕ УСТАТКУВАННЯ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ

Механічне устаткування станцій включає такі елементи:

- сміттєзатримуючі пристрої;
- затвори, засувки, клапани;
- підйомно-транспортні механізми.

### СМІТТЄЗАТРИМУЮЧІ ПРИСТРОЇ

Елементи сміттєзатримуючих пристроїв:

- ґрати; сітки.

У берегових водозаборах як сміттєзатримуючі пристрої застосовують ґрати (стаціонарні чи знімні), встановлювані в прямокутних водоприймальних отворах (вікнах).

Ґрати - прямокутні рами зі швелерів, заповнені вертикальними сталевими смугами товщиною 4-10 мм. Ширина смуги  $L \geq (1-1.3) a$ , де  $a$  - просвіт між смугами (для осьових насосів  $a = 5-15$  см, для відцентрових  $a = 3-10$  см).

Типова конструкція плоских ґрат  $b \times h = 1250 \times 2500$  [1];

рама - зі швелерів № 10 - 12; стержні із смугової сталі  $50 \times 6$  мм.

Втрати напору в ґратах визначають за формулою (1.9):

$$h_{\text{реш}} = \zeta_{\text{реш}} \frac{V^2}{2g}.$$

де  $\zeta_{\text{реш}}$  – коефіцієнт опору в ґратах;

$V$  – середня швидкість потоку, віднесена до перерізу отворів ґрат, м/с.

Розміри водоприймальних отворів визначають за середньою швидкістю втікання води через ґрати (отвору в світлі).

Припустима швидкість втікання води у водоприймальний отвір приймається:

а) у берегових незатоплених водоприймачах:  $V = 0.6 - 0.2$  м/с;

б) у затоплених водоприймачах:  $V = 0.3 - 0.1$  м/с

(великі значення  $V$  приймають для насосних станцій з  $Q \geq 10$  м<sup>3</sup>/с)

Площу живого перерізу водоприймальних отворів (брутто) однієї секції  $\Omega_{\text{бр}}$  (м<sup>2</sup>) визначають за формулою

$$\Omega_{\text{бр}} = 1.25 q_p k_{\text{ст}}, \quad (1.10)$$

де  $V$  – швидкість втікання у водоприймальний отвір, м/с;

1.25 – коефіцієнт, що враховує засмічення отворів;

$q_p$  – розрахункова витрата однієї секції, м<sup>3</sup>/с;

$k_{\text{ст}}$  – коефіцієнт, що враховує стиснення отворів стержнями ґрат, прийнятий

$$k_{\text{ст}} = (\alpha_{\text{ст}} + c_{\text{ст}}) \alpha_{\text{ст}},$$

де  $c_{\text{ст}}$  – відстань між стержнями у світлі, см;

$\alpha_{\text{ст}}$  – товща стержнів, см.

Низ водоприймальних отворів повинен бути розташований не менше 0.5 м вище дна водотоку, верх – не менше 0.2 м від нижньої крайки льоду.

До складу руслових водозаборів входять самопливні труби (не менше двох), кожна з яких розраховують на повну розрахункову подачу води насосною станцією.

При виборі діаметра самопливних труб орієнтовану швидкість руху води в них допускається приймати за даними табл. 1.3

Т а б л и ц я 1.3

Діаметри труб, мм	Швидкість руху води у водозаборах категорії, м/с	
	I	II і III
300 – 500	0,7 – 1,0	1,00 – 1,5
500 – 800	1,0 – 1,4	1,5 – 1,9
Більше 800	1,5	2,0

С і т к и. Застосовують у водоприймачах насосних станцій для більш глибокого механічного очищення води. Матеріал – нержавіюча сталь, оцинкована сталь, бронза, капрон і т.д. Сітки бувають: а) плоскі знімні; б) стрічкові обертові.

Секція плоскої знімної сітки – металева рама з куточків, на якій кріпиться дрогове полотнище сітки.

Полотнина сітки - з тонкого дроту:

- а) дрібна робоча – осередки розміром  $2 \times 2 \dots 5 \times 5$  мм;
- б) велика – осередки розміром  $20 \times 20$  мм – для міцності полотнини.

Обертова сітка – безупинна дрогова полотнина, укріплена на обертових барабанах, розташованих горизонтально. Полотнина складається з окремих шарнірно з'єднаних між собою секцій (рамок). Ширина полотнини сітки - до 2-2.5 м. Привод обертання – електродвигун. Швидкість руху сітки - 3.5-10 см/с. Робоча площа сітки визначається за розрахунковою швидкістю втікання через отвір сітки  $v \approx 0.4$  м/з (без рибозагороджувачів);  
 $v \approx 0.8 - 1.2$  м/з (з рибозагороджувачами поза станцією).

## **ЗАТВОРИ, ЗАСУВКИ, КЛАПАНИ**

Затвори забезпечують регулювання витрат води через споруду. Затвори бувають: основні (робочі); аварійні; ремонтні; аварійно-ремонтні.

Плоскі щитові затвори – дерев'яні й металеві. Затвори встановлюють у напрямних зі швелерів. Отвору, що перекриваються плоскими дерев'яними щитами (із брусів зі стяжними болтами) розміром  $2 \times 2$  м, що допускається напір - 15 м. Для великих тисків застосовують металеві затвори.



Зусилля для підйому плоского затвора Р (кг) знаходять за формулою

$$P = ( G + \rho H F f ) k^7 / 1000 , \quad (1.11)$$

де G- маса щита, кг;

H- напір, що діє на затвор, м;

F- площа затвора, м<sup>2</sup>;

f - коефіцієнт тертя металу по металу;

f = 0.3- для ковзних щитів;

f = 0.1- для коткових щитів;

k – коефіцієнт запасу, k= 1,5.

З а с у в к и: рівнобіжні й клинові, з механічним приводом (електро- чи гідроприводом). Засувки застосовують на трубопроводах насосних станцій в якості робочих і аварійно-ремонтних затворів.

З цією ж метою на трубопроводах застосовують дискові поворотні затвори.

Зворотні клапани встановлюють на напірних трубопроводах між напірним патрубком насоса і засувкою, щоб запобігти поворотному (через насос) рухові води при його зупинці.

Зворотні клапани бувають з верхньою підвіскою (при d<sub>тр</sub> до 1000 мм) і з ексцентричною підвіскою тарелі (d до 1200 мм). На трубах великих діаметрів використовують багатодискові зворотні клапани.

На вході у всмоктувальні трубопроводи застосовують:

а) прийомні клапани (d<sub>тр</sub> до 200 мм) – при заливанні водою перед включенням;

б) запобіжні сітки ( суспензії у воді ) при заливанні за допомогою вакуум-насоса;

в) прийомні лійки (чиста вода) – при заливанні за допомогою насоса чи ежектора.

## **ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНИЙ ПРИСТРІЙ**

Для монтажу, ремонту і демонтажу устаткування, арматури і трубопроводів насосних станцій передбачається подіймно-транспортне устаткування:

а) кішки і талі по монорейці з ручним приводом (при масі вузлів до 1000 кг);

б) підвісні кран - балки (при масі вузлів до 5000 кг);

в) бруківки крани (при масі вузлів більш 5000 кг).

Маса вузлів, деталей устаткування, трубопроводів, фасонних частин устанавлюється після розрахунку і підбору основного і допоміжного устаткування. Максимальну масу деталей (вузлів) орієнтовно можна приймати в межах 50 - 60% загальної маси насоса, двигуна.

## **ДОПОМІЖНЕ УСТАТКУВАННЯ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ**

Допоміжне устаткування насосних станцій включає до свого складу такі основні системи:

- комунікації всмоктувальних і напірних трубопроводів;
- системи заливання насосів перед пуском (вакуум-системи );
- системи технічного водопостачання ( СТВ );
- дренажні системи;
- системи видалення осаду та ін.

## **КОМУНІКАЦІЇ ВСМОКТУВАЛЬНИХ І НАПІРНИХ ТРУБОПРОВОДІВ**

У межах будівлі насосної станції комунікації всмоктувальних і напірних трубопроводів в основному виконують із сталевих труб, поза будівлею - з чавунних розтрубних.

### Всмоктувальні трубопроводи.

Діаметри всмоктувальних труб, фасонних частин і арматури визначають за допомогою таблиць Ф. А. Шевелева [4] за розрахунковою секундною витратою води  $Q$ , л/с.

При попередньому підборі діаметрів керуються наступною припустимою швидкістю  $V$ , м/с [3]:

- при діаметрі всмоктувальних труб до 250 мм - 0.6-1.0;
- 350-800 мм - 0.8-1.5;
- понад 800 мм - 1.2-2.0.

Число всмоктувальних труб на станціях I підйому, сполучених з водозабором, звичайно приймають рівним числу встановлених насосів.

На станціях II підйому при великому числі встановлених насосів влаштовують збірний колектор з перемикаючими засувками і не менше двох усмоктувальних труб. При вимиканні однієї лінії інші повинні бути розраховані на пропуск повної розрахункової витрати (для насосних станцій I і II категорій).

### Напірні трубопроводи.

У насосних станціях I і II підйому влаштовують два напірних трубопроводи (і тільки в окремих випадках – три і більше) зі збірним колектором і перемикаючими засувками, установленими на станції чи розташовуваними в окремому приміщенні. При попередньому підборі діаметрів труб виходять зі швидкості руху води  $v$ , м/с: [3]:

для діаметрів труб до 250 мм- 0.8-2.0;  
250-800 мм – 1.0-3.0;  
понад 800 мм- 1.5-4.0.

Трубопроводи в межах станції можуть розміщуватися як над підлогою машинного залу, так і в каналах підлоги, що перекриваються зйомними плитами.

### Розташування насосних агрегатів.

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

- однорядне, паралельне поздовжній осі будівлі;
- однорядне, перпендикулярно до поздовжньої осі будівлі;
- однорядне, під кутом до поздовжньої осі;
- дворядне;
- дворядне в шаховому порядку.

## СИСТЕМА ЗАЛИВАННЯ НАСОСІВ ПЕРЕД ПУСКОМ

Як відомо, перед включенням лопатевих насосів у роботу їхній корпус і всмоктувальна труба повинні бути заповнені рідиною, що перекачується.

Відцентрові й осьові насоси варто встановлювати з підпором ("під затокою") при мінімальних рівнях води в джерелі (резервуарі). При цьому перед пуском насоса відкривають засувку на всмоктувальній трубі і кран для випуску повітря з корпусу насоса. Під наявним напором вода заповнює всмоктувальну трубу і корпус насоса (засувка на напірній трубі закрита). У випадку, коли насоси встановлюються вище рівня води в джерелі (резервуарі), необхідно передбачити систему для заливання насосів водою (перед включенням їх у роботу).

Заливання насосів водою може бути виконана за трьома схемами:

а) заливання насоса з напірного трубопроводу по обвідній трубі при наявності прийомного клапана на початку всмоктувальної труби. У зв'язку зі значними опорами на вході у всмоктувальну трубу прийомні клапани допускається встановлювати на трубопроводах діаметром до 200 мм на насосних станціях III класу;

б) заливання за допомогою струминного насоса (ежектора) (робота на забрудненій воді);

в) заливання насоса за допомогою вакуум - насоса (робота на чистій воді). Вакуум-насос автоматизує систему заливання і пуск насоса. Звичайно встановлюють два вакууми - насоси (один - робочий, другий - резервний). Подачу вакуум-насоса,  $Q$  ( $\text{м}^3 \setminus \text{хв}$ ) визначають за формулою

$$Q_{\text{в}} = \frac{(W_{\text{тр}} + W_{\text{н}}) \cdot h_{\text{ат}}}{t(h_{\text{ат}} - h_{\text{вс}})} \cdot k.$$

Тут  $W_{\text{тр}}$  - обсяг повітря у всмоктувальній трубі,  $\text{м}^3$ ;  
 $W_{\text{н}}$  - обсяг повітря в корпусі насоса,  $\text{м}^3$ ;  
 $h_{\text{ат}}$  - атмосферний тиск, м ( $h_{\text{ат}} \approx 10$  м);  
 $h_{\text{вс}}$  - геометрична висота насоса, м;  
 $t$  - час для створення розрахункового вакууму:  
 $t = \text{до } 2 \text{ хв}$  - для протипожежних насосів;  
 $t = 3-5 \text{ хв}$  - для господарських насосів;  
 $k$  - коефіцієнт запасу на витікання повітря через не щільності системи ( $k = 1.05-1.10$ ).

## **СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ (СТВ)**

СТВ забезпечує роботу охолоджувачів електродвигунів, гідроуцільнення сальників насосів, насосів, охолодження компресорних установок, трансформаторів з водяним охолодженням і т.д.

Технічна вода повинна бути хімічно чистою, що може бути забезпечено місцевими очисними установками: відстійниками, фільтрами. Вода може також забиратися з джерела чи напірного трубопроводу. Діаметр трубопроводів технічного водопостачання  $d_y \approx 100-150$  мм.

## **ДРЕНАЖНІ СИСТЕМИ. СИСТЕМИ ОСУШЕННЯ**

Дренажні системи призначені для відкачування з приміщення станції фільтраційної води, що просочується через сальники насосів, і пролітої при аваріях у період ремонтних робіт.

В підлозі машинного залу станції, у торці будівлі, влаштовують збірний дренажний колодязь (об'єм його дорівнює 10-15- хвилинній подачі дренажного насоса), до якого підводиться вода дренажними лотками (підлога машинного залу має ухил у бік лотків (0.002- 0.0005)).

Воду відкачують за межі станції дренажними насосами (вихрові чи відцентрові), продуктивність яких складає:

- для станцій малої потужності  $Q = 1$  л/с;
- середньої потужності  $Q = 3.5-5$  л/с;
- великої потужності  $Q = 8-10$  л/с.

Систему осушення застосовують для видалення води з всмоктувальних трубопроводів і насосів, а також з приміщення, розташованих нижче рівня води в нижньому б'єфі станції. Звичайно встановлюють два робочі насоси (відцентрові горизонтальні типу К чи артезіанського).

Осушувальні насоси встановлюють поряд з дренажними. На великих станціях осушувальні насоси виконують також функції дренажних.

## **СИСТЕМА ВИДАЛЕННЯ ОСАДУ З ВОДОПРИЙМАЛЬНИХ КАМЕР**

У водоприймальних камерах влаштовують приямок, де розташовують всмоктувальні труби водострумних чи фекальних насосів (підлогу камери виконують з ухилом у бік приямку), встановлюваних у машинному залі станції чи на перекритті прийомних камер.

Витрату осаду приймають рівною 3 – 8 л/с.

## **КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНА АПАРАТУРА НАСОСНИХ СТАНЦІЙ**

Контролю підлягають:

а) основні технологічні параметри: подача, тиск (напір), вакуум у всмоктувальній лінії, рівень води в джерелі, перепад рівнів, утрати напору, температура і т.д.

б) основні електричні параметри: коефіцієнт потужності  $\cos\phi$ , частота струму і т.д.

Подачу станції виміряють:

а) витратомірами – за виміром швидкості;

б) витратомірами – за перепадом тиску.

Швидкісні водоміри (крильчасті й турбінні водолічильники) засновані на вимірі витрати рідини вертушкою, що приводиться в обертання потоком води.

Вимір витрати за перепадом тиску виконують за допомогою звужуючих пристроїв: діафрагми нормальні (камерні ДКН і дискові ДДН), сопла нормальні, сопла Вентури і т.д.

Тиск і вакуум виміряють диференціальними манометрами (дифманометрами):

- витратоміри;
- перепадомери;
- рівнеміри;
- дифманометри;

- поплавкові;
- мембранні;
- сільфонні.

На них встановлюють:

- вакуумметр (мановакуумметр) на всмоктувальному патрубку;
- манометр на напірному патрубку;
- амперметр, вольтметр, ваттметр;
- показчик рівня масла в підшипниках з рідинним змащенням;
- манометр тиску масла перед підшипниками;
- термометр температури масла, що входить у підшипники і виходить з них;
- водомір на кожній напірній лінії (вказуючий і записуючий).

У машинному залі станції встановлюють: показчики рівня води в резервуарах, телерівнеміри та інші прилади.

## **МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ**

Вибір основного устаткування (насосів і двигунів) визначається призначенням і режимом роботи насосної станції в системі водопостачання.

Насосні станції водопостачання розрізняють за призначенням і розташуванням в системі:

- насосні станції II підйому (НС II) ;
- насосні станції I підйому (НС I) ;
- підвищуючі;
- циркуляційні.

Вибір насосних агрегатів виконують за основними розрахунковими параметрами: подачі  $Q$  і напору  $H$ , що встановлюються гідравлічним розрахунком системи.

Система перекачування рідини являє собою взаємозалежні елементи: "джерело водопостачання (резервуар) – насосна станція – водоспоживач".

Режим роботи і подача насосної станції визначаються режимом споживання. При визначенні основних параметрів насосної станції вирішують питання розміщення і трасування всмоктувальних і напірних комунікацій з урахуванням наявних рекомендацій [1], підбирають їхні діаметри.

Вихідні дані проектування (задані чи попередньо встановлені):

витрата води в добу максимального водоспоживання,  $\text{м}^3/\text{доб.}$ ,

$Q_{\text{доб}}^{\text{макс}}$  ;

витрата води за годину,  $\text{м}^3/\text{год}$  , максимального  $Q_{\text{час}}^{\text{макс}}$  , середнього

$Q_{\text{час}}^{\text{ср}}$  і мінімального  $Q_{\text{час}}^{\text{мін}}$  водоспоживання за добу  $Q_{\text{доб}}^{\text{макс}}$  ;

витрата води на потреби пожежогасіння,  $\text{м}^3/\text{год}$ ,  $Q_{\text{п}}$  , і прийнята система (низького чи високого тиску);

позначка розрахункових рівнів води в джерелі, м,  $Z_{\text{ист}}$  ;

позначка рівня води в споживача, м,  $Z_{\text{п}}$  ;

гідралічна характеристика трубопроводів  $Q - H_{\text{тр}}$ .

У цьому посібнику розглянута робота насосних станцій I і II підйому господарсько - питних систем водопостачання.

## НАСОСНІ СТАНЦІЇ І ПІДЙОМУ

У господарсько-питних системах водопостачання міст подача води насосами НСІ може здійснюватися за однією з трьох схем:

1. Насосна станція подає воду з поверхневого джерела на очисні споруди (схема 1).

2. Насосна станція подає воду з підземного джерела в резервуари чистої води (РЧВ) (схема 2).

3. Насосна станція подає воду з підземного джерела безпосередньо споживачу (в мережу) (схема 3).

Через високу якість артезіанської води (підземне джерело) і відповідності її вимогам ДСТ 2874-82 у господарсько-питних системах можуть бути відсутніми очисні споруди (схеми 2, 3).



**Схема I.** Подача води з джерела на очисні споруди (див. рис. 1.11)

Режим роботи насосної станції так само, як і режим роботи очисних споруд, рівномірний. Станція розраховується на середню годинну подачу води.

Середня годинна подача насосної станції, м<sup>3</sup>/год

$$Q_{\text{ч}} = \frac{\alpha Q_{\text{сут}}^{\text{макс}}}{T}, \quad (1.13)$$

де  $\alpha = 1,04 \dots 1,10$  – коефіцієнт витрати води на власні потреби станції (промивання ґрат, сіток, фільтрів і т.д.);  
при продуктивності системи більше 20000 м<sup>3</sup>/доб.  
 $\alpha = 1,05$ .

$Q_{\text{сут}}^{\text{макс}}$  - максимальна добова витрата води, м<sup>3</sup>/доб.

$T$  - тривалість роботи насосної станції в добу, ч (звичайно  $T=24$  год).

Середня секундна подача насосної станції, л/с,

$$Q_{\text{с}} = \frac{Q_{\text{ч}} \cdot 1000}{3600}. \quad (1.14)$$

Повний напір насосів, м,

$$H = H_{\text{г}} + h_{\text{wbc}} + h_{\text{wh}} + 1, \quad (1.15)$$

де  $H_{\text{г}} = Z_{\text{см}} - Z_{\text{унв}}$  - геометричний напір, м;

$Z_{\text{см}}$  - оцінка рівня води в змішувачі очисних споруд, м;

$Z_{\text{унв}}$  - оцінка рівня низьких вод у джерелі, м;

$h_{\text{wbc}}$  - втрати напору в усмоктувальних трубах, м;

$h_{\text{wh}}$  - втрати напору в напірних трубах, м;

1 - запас напору, м.

Втрати напору у всмоктувальних і напірних трубопроводах визначають після підбору діаметрів відповідно до наявних рекомендацій.

У насосних станціях I підйому число всмоктувальних труб приймають рівним числу робочих насосів. Так, у системах з двома робочими насосами діаметр кожної з всмоктувальних труб підбирають на розрахункову витрату  $Q_{\text{р}} = 0,5 Q_{\text{с}}$ , де  $Q_{\text{с}}$  визначають за формулою (1.14).

Для забезпечення безперебійної роботи системи виконують перевірку діаметра на повну секундну витрату  $Q_p = Q_c$ .

У насосних станціях I підйому, як правило, приймають два напірних трубопроводи, діаметри кожного з яких підбирають, виходячи з витрати  $Q_p = 0.5 Q_c$ .

**Схема 2.** Подача води з підземного джерела в резервуари чистої води (рис.1.12 )

Рекомендується при використанні артезіанських чи підруслових вод.

Режим роботи насосної станції рівномірний, цілодобовий.

Станція розраховується на годинну подачу води.

Годинна подача насосної станції, м<sup>3</sup>/год:

$$Q_{\text{ч}} = \frac{\alpha_1 \cdot Q}{24} \quad (1.16)$$

де  $\alpha_1$  - коефіцієнт витрати на власні потреби водопроводу ( $\alpha_1 = 1,01 \dots 1,02$ )

$Q_{\text{суу}}^{\text{макс}}$  – максимальна добова витрата води, м<sup>3</sup>/доб.

Секундна подача насосної станції, м<sup>3</sup>/з

$$Q_c = \frac{Q_{\text{ч}} \cdot 1000}{3600} \quad (1.17)$$

Повний напір насосів, м,

$$H = H_{\Gamma} + h_{\text{вскв}} + h_{\text{w y}} + 1 \quad (1.18)$$

де  $H_{\Gamma} = Z_{\text{рчв}}^{\text{макс}} + Z_{\text{ду}}$  - геометричний напір, м;

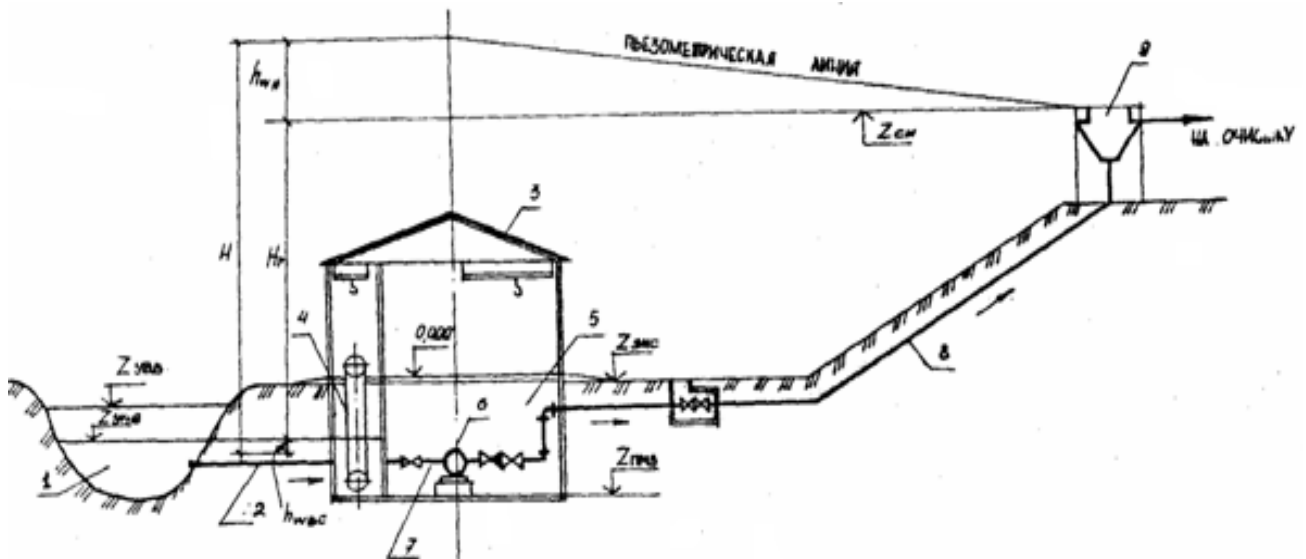
$Z_{\text{рчв}}^{\text{макс}}$  - позначка максимального рівня води в резервуарах чистої води, м;

$Z_{\text{ду}}$  - позначка динамічного рівня води в шпарі, м (рівень води в свердловині при відкачці);

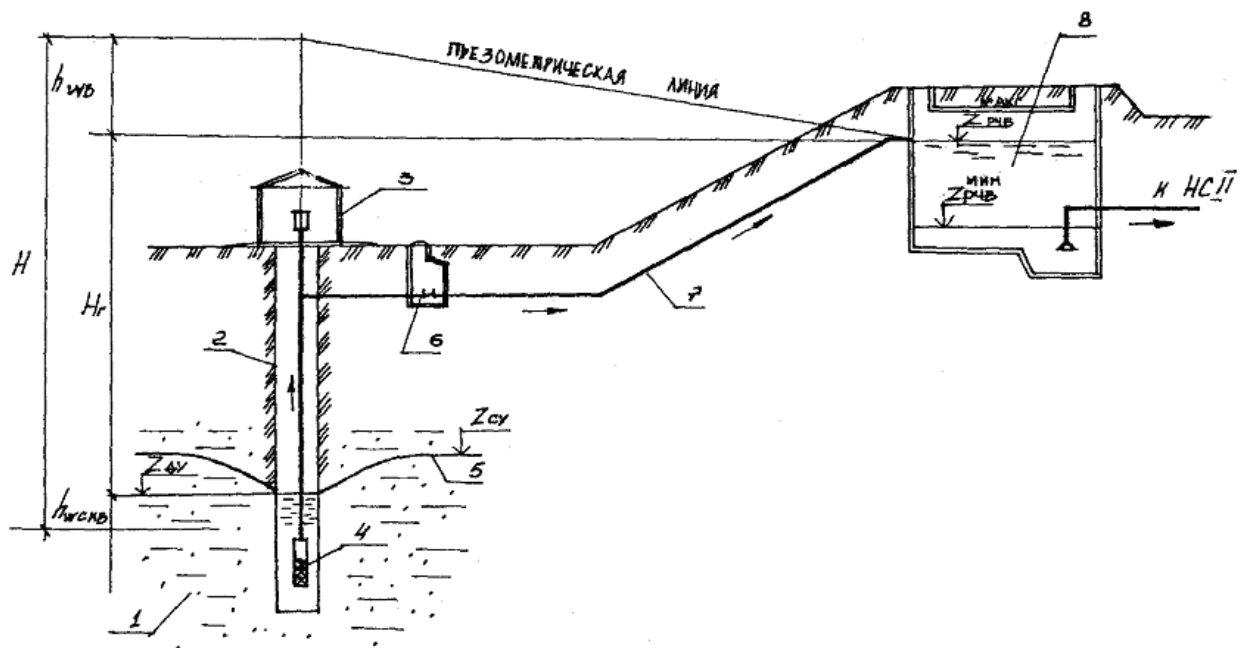
$h_{\text{вскв}}$  - втрати напору в шпарі при вході води в заглибний насос, м;

$h_{\text{w y}}$  - втрати напору у водоводі, м.

Втрати напору визначають після встановлення діаметрів труб.



**Рис. 1.11 - Схема подачі води з джерела на очисні спорудження**  
 1 – джерело водопостачання; 2 – самопливні труби; 3 – насосна станція I підйому; 4 – сітка; 5 – машинний зал станції; 6 – насосний агрегат; 7 – всмоктувальні труби; 8 – напірні труби; 9 – змішувач очисних споруд.



**Рис. 1.12 - Схема подачі підземних вод у резервуари чистої води**  
 1 – водоносний шар; 2 – трубчастий колодязь (бурова свердловина); 3 – насосна станція I підйому; 4 – насосний агрегат; 5 – депресійна воронка; 6 – витратоміри

### Схема 3. Подача води з підземного джерела в мережу

(рис. 1.13)

Рекомендується при використанні артезіанських вод.

Режим роботи станції рівномірний, цілодобовий.

Подача насосної станції визначається за формулою:

Повний напір насосів, м,

$$H = H_{\Gamma} + h_{w_{скв}} + h_{w_{н}} + H_{св}, \quad (1.19)$$

де  $H_{\Gamma} = Z_c - Z_{ду}$  - геометричний напір, м;

$Z_c$  - позначка землі на початку водогінної мережі, м;

$Z_{ду}$  - позначка динамічного рівня води в шпарі, м;

$h_{w_{скв}}$  - втрати напору води в свердловині при вході води в заглибний насос, м;

$h_{w_{н}}$  - втрати напору в напірних трубах, м;

$H_{св}$  - необхідний вільний напір на початку мережі, м (визначається розрахунком водогінної мережі міста).

Втрати напору визначаються після підбору діаметрів труб.

## НАСОСНІ СТАНЦІЇ П ПІДЙОМУ

У господарсько-питних системах водопостачання міст подача води насосами НСП може здійснюватися за трьома схемами:

1. Насосна станція подає воду з резервуарів чистої води (РЧВ) по водоводу безпосередньо у водогінну мережу міста.

2. Насосна станція подає воду з резервуарів чистої води по водоводах у напірно-регулюючу споруду (водонапірну башту), що знаходиться на початку мережі.

3. Насосна станція подає воду з резервуарів чистої води за водоводами у водогінну мережу з контррезервуаром (водонапірна вежа наприкінці мережі).

У всіх випадках режим роботи насосної станції П підйому визначається режимом водоспоживання населеного пункту.

Режим водоспоживання в містах нерівномірний як протягом року, так і протягом доби, що враховується за допомогою коефіцієнтів нерівномірності  $K_{доб}$  і  $K_{год}$ .

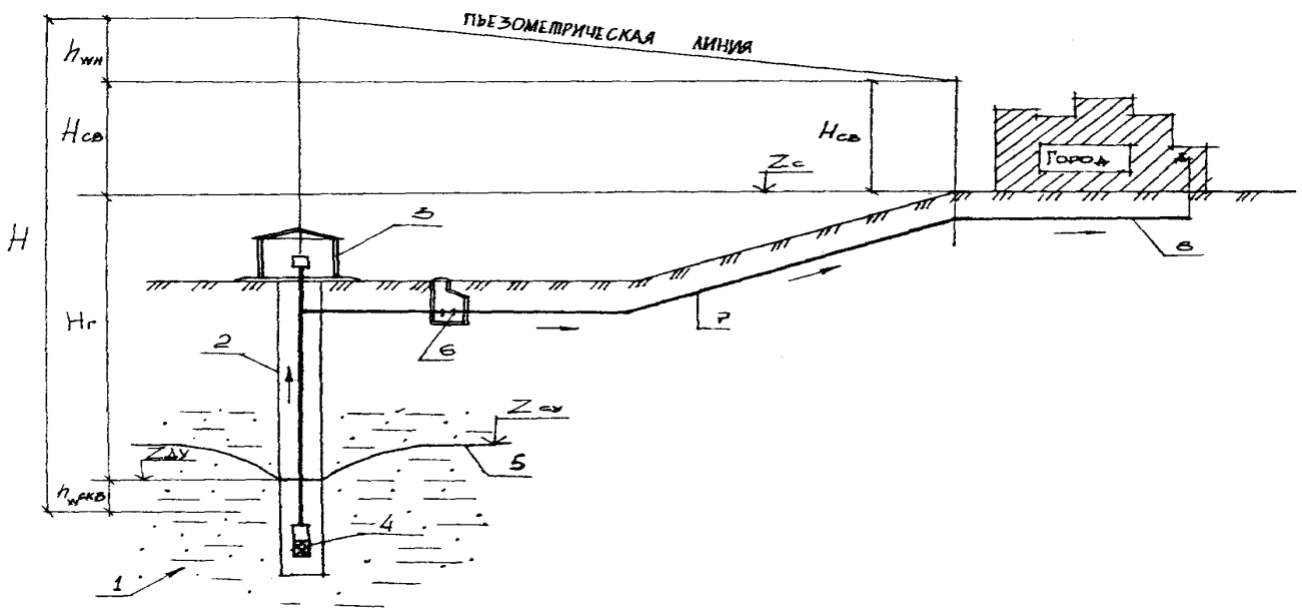
Вивчення й аналіз режиму водоспоживання населених пунктів різного типу дозволив скласти графіки добового водоспоживання (рис. 1.14).

У кожному з графіків відношення його максимальної ординати  $q_{ч}^{макс}$  до середнього  $q_{ч}^{ср} = 100/24 = 4.17 \%$  дає величину коефіцієнта годинної нерівномірності  $K_{час}$ .

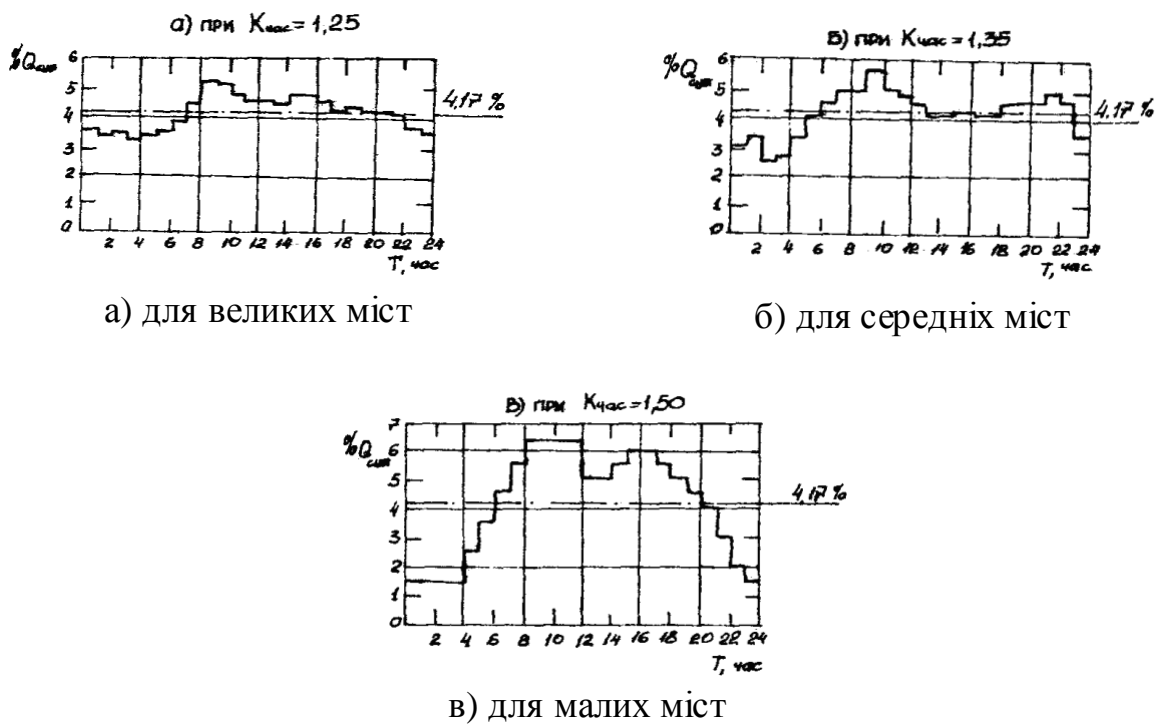
У табл. 1.4. наведено витрати води в окремі години доби (у відсотках добової витрати) для графіків, приведених у дод. 2.

Таблиця 1.4.

Години доби	Годинна витрата води, % $Q_{сут}$ при $K_{год}$					
	1,25	1,35	1,50	1,60	1,70	1,80
0-1	3,35	3,00	1,50	1,55	1,25	1,30
1-2	3,32	3,20	1,50	1,55	1,25	1,30
2-3	3,30	2,50	1,50	1,55	1,25	1,30
3-4	3,20	2,60	1,50	1,55	1,25	1,30
4-5	3,25	3,50	2,50	2,60	2,60	1,30
5-6	3,40	4,10	3,50	4,15	4,15	3,50
6-7	3,85	4,50	4,50	5,70	5,70	7,00
7-8	4,45	4,90	5,50	5,70	5,70	7,50
8-9	5,20	4,90	6,25	6,70	7,05	7,50
9-10	5,05	5,60	6,25	6,70	7,05	7,50
10-11	4,85	4,90	6,25	5,70	5,70	6,50
11-12	4,60	4,70	6,25	4,15	4,15	5,20
12-13	4,60	4,40	5,00	4,15	4,15	3,60
13-14	4,55	4,10	5,00	5,70	5,70	3,60
14-15	4,75	4,10	5,50	6,70	7,05	4,00
15-16	4,70	4,40	6,00	6,30	7,05	5,60
16-17	4,65	4,30	6,00	5,70	5,70	6,20
17-18	4,35	4,10	5,50	5,70	5,70	6,20
18-19	4,40	4,50	5,00	4,15	4,15	6,20
19-20	4,30	4,50	4,50	4,15	4,15	5,20
20-21	4,30	4,50	4,00	4,15	4,15	3,40
21-22	4,20	4,80	3,00	2,60	2,60	2,20
22-23	3,75	4,60	2,00	1,55	1,25	1,30
23-24	3,70	3,30	1,50	1,55	1,25	1,30
<b>Разом</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>



**Рис.1 13 - Схема подачі підземних вод у систему водопостачання міста:**  
**1** – водонесний шар; **2** – трубчастий колодязь (бурова свердловина);  
**3** – насосна станція I підйому; **4** – насосний агрегат; **5** – депресійна воронка;  
**6** – витратоміри; **7** – напірні труби (водоводи); **8** – водопровідна мережа міста.



**Рис. 1.14 – Графіки добового водоспоживання**

Величина  $K_{\text{год}}$  звичайно менше для великих міст і більше - для невеликих.

Режим роботи насосів насосної станції II підйому може бути:

- рівномірним (цілодобова робота);
- нерівномірним (східчаста робота).

Східчастою називається робота різного числа насосів у різні години доби.

Рівномірний режим роботи насосів рекомендується для систем водопостачання з подачею води не більше 15 тис. м<sup>3</sup>/доб.

Найбільше поширення в практиці проектування насосних станцій II підйому одержала дво- чи тріступінчаста робота насосів.

### *Схема 1.* Подача води з РЧВ у водопровідну мережа міста (рис. 1.15)

Режим роботи насосної станції визначається залежно від режиму водоспоживання населеного пункту. При заданій величині  $K_{\text{година}}$  вивчають сполучений графік добового водоспоживання населеного пункту і східчастої роботи насосної станції. Приймають дво- чи тріступінчасту роботу насосів. Аналізують забезпеченість подачі в різні години доби.

У системах водопостачання без напірно-регулюючих ємкостей насоси кожного ступеня підбирають з розрахунку на годину найбільшого водоспоживання в добу максимального водоспоживання.

Розглянемо режим роботи насосної станції в системі водопостачання середнього за величиною населеного пункту з коефіцієнтом годинної нерівномірності водоспоживання  $K_{\text{год}} = 1,35$ .

Відповідно до завдання на рис. 1.16 приведений графік добового водоспоживання міста в координатах:

- вісь абсцис - число годин у добі,  $T$ , год.;
- вісь ординат – годинна витрата води в % максимального добового водоспоживання, %.

Суцільна лінія на полі графіка (рис. 1.16) відповідає режиму максимального водоспоживання в населеному пункті за добу.

При двоступінчастій роботі насосної станції подача води насосами представлена на полі графіка пунктирною лінією.

Насоси I ступеня працюють з 23 до 6 годин і подають у щогодини  $q_{\text{час I}} = 4.10\% Q_{\text{сут}}^{\text{макс}}$ .

Насоси II ступені працюють з 6 до 23 годин і подають у щогодини  $q_{\text{час II}} = 5.60\% Q_{\text{сут}}^{\text{макс}}$ .

Визначають максимальну продуктивність  $Q^{\text{макс}}$  кожної групи робочих насосів (годинна і секундна).

**I група.** Максимальна годинна продуктивність,  $\text{м}^3/\text{год}$

$$Q_{\text{чI}}^{\text{макс}} = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot q_{\text{часI}}}{100} = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot 4.10}{100}. \quad (1.20)$$

Максимальна секундна продуктивність, л/с,

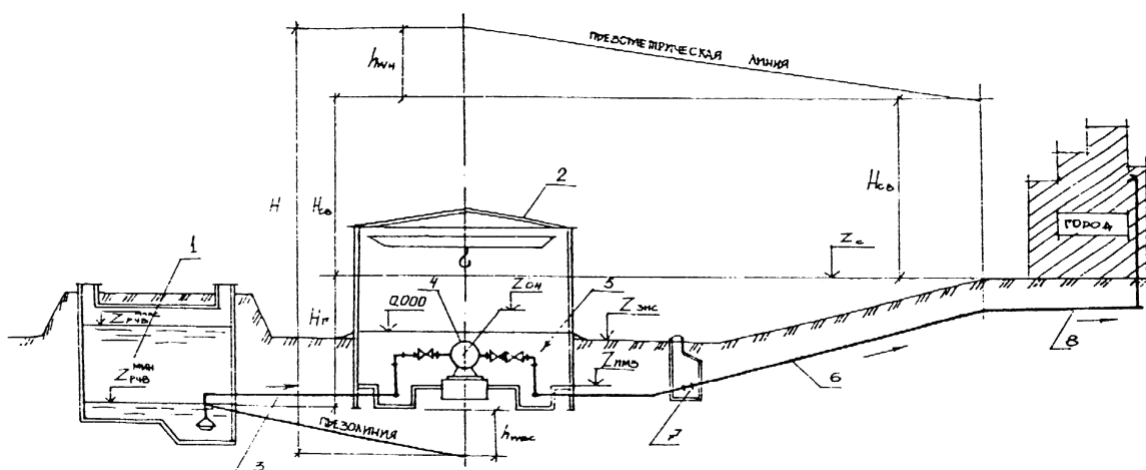
$$Q_{\text{сI}}^{\text{макс}} = \frac{Q_{\text{ч}}^{\text{макс}} \cdot 1000}{3600}. \quad (1.21)$$

**II група.** Максимальна годинна продуктивність,  $\text{м}^3/\text{год}$

$$Q_{\text{чII}}^{\text{макс}} = \frac{Q_{\text{сут}}^{\text{макс}} \cdot q_{\text{часII}}}{100} = \frac{Q_{\text{сут}}^{\text{макс}} \cdot 5.60}{100}. \quad (1.22)$$

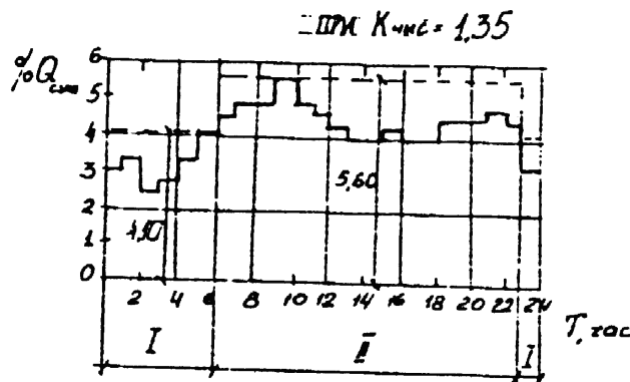
Максимальна секундна продуктивність, л/с

$$Q_{\text{сII}}^{\text{макс}} = \frac{Q_{\text{ч}}^{\text{макс}} \cdot 1000}{3600}. \quad (1.23)$$



**Рис. 1.15** – Схема подачі води з РЧВ в водопровідну мережу міста:  
**1** – резервуар чистої води (РЧВ); **2** – насосна станція II підйому (НС II);  
**3** – всмоктуючі труби; **4** – насосні агрегати; **5** – машинний зал станції;  
**6** – напірні труби (водоводи); **7** – витратоміри; **8** – водопровідна мережа міста.





**Рис. 1.16 - Сполучений графік водоспоживання і подачі води насосною станцією**

- I – години роботи I ступеня насосів;
- II – години роботи II ступеня насосів;
- - водоспоживання міста;
- - - подача НСП в місто.

Повний напір насосів, м,

$$H = H_{\Gamma} + h_{wbc} + h_{wh} + H_{cb} \quad (1.24)$$

- де  $H_{\Gamma} = Z_c - Z_{pчв}^{мин}$  - геометричний напір, м;  
 $Z_c$  - оцінка землі на початку водогінної мережі, м;  
 $Z_{pчв}^{мин}$  - оцінка мінімального рівня води в РЧВ, м;  
 $h_{wbc}$  - втрати напору у всмоктувальних трубах, м;  
 $h_{wh}$  - втрати напору в напірних трубах (водоводах), м;  
 $H_{cb}$  - необхідний вільний напір на початку мережі, м.

Втрати напору визначають після підбору діаметрів труб. [3]

Аналіз роботи НСП за схемою I виконують на два розрахункових випадки:

- максимального водоспоживання міста;
- гасіння пожежі.

У насосних станціях II підйому число всмоктувальних труб приймають не менше двох. Так, у системах з двома всмоктувальними трубопроводами кожний з них розраховують на витрату

$$Q_p = 0,5 Q_{cII}^{макс},$$

де  $Q_{cII}^{макс}$  визначають за формулою (1.23) для групи насосів з максимальною годинною витратою води.

У насосних станціях II підйому приймають два напірних трубопроводи, кожний з яких розраховують на ту ж витрату, що й всмоктувальні труби.

**Схема 2.** Подача води з РЧВ у систему з вежею на початку мережі  
(рис.1.17 )

Режим роботи насосної станції визначають залежно від режиму водоспоживання міста.

При заданій величині  $K_{\text{час}}$  визначення подачі і вибір режиму роботи насосної станції виконують за табл. 1.5 або за графіком добового водоспоживання міста і східчастої роботи станції (рис. 1.18).

Т а б л и ц я 1.5

Години доби	Годинне водоспоживання	Подача насосами	Надходження в бак	Витрата з бака	Залишок у баці
0-1	3,00	2,50	-	0,50	1,90
1-2	3,20	2,50	-	0,70	1,20
2-3	2,50	2,50	-	-	1,20
3-4	2,60	2,50	-	0,10	1,10
4-5	3,50	4,50	1,00	-	2,10
5-6	4,10	4,50	0,40	-	2,50
6-7	4,50	4,50	-	-	2,50
7-8	4,90	4,50	-	0,40	2,10
8-9	4,90	4,50	-	0,40	1,70
9-10	5,60	4,50	-	1,10	0,60
10-11	4,90	4,50	-	0,40	0,20
11-12	4,70	4,50	-	0,20	-
12-13	4,40	4,50	0,10	-	0,10
13-14	4,10	4,50	0,40	-	0,50
14-15	4,10	4,50	0,40	-	0,90
15-16	4,40	4,50	0,10	-	1,00
16-17	4,30	4,50	0,20	-	1,20
17-18	4,10	4,50	0,40	-	1,60
18-19	4,50	4,50	-	-	1,60
19-20	4,50	4,50	-	-	1,60
20-21	4,50	4,50	-	-	1,60
21- 22	4,60	4,50	-	0,30	1,30
22-23	4,60	4,50	-	0,10	1,20
23-24	3,30	4,50	1,20	-	2,40
<b>Разом:</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>4,2</b>	<b>4,2</b>	<b>-</b>

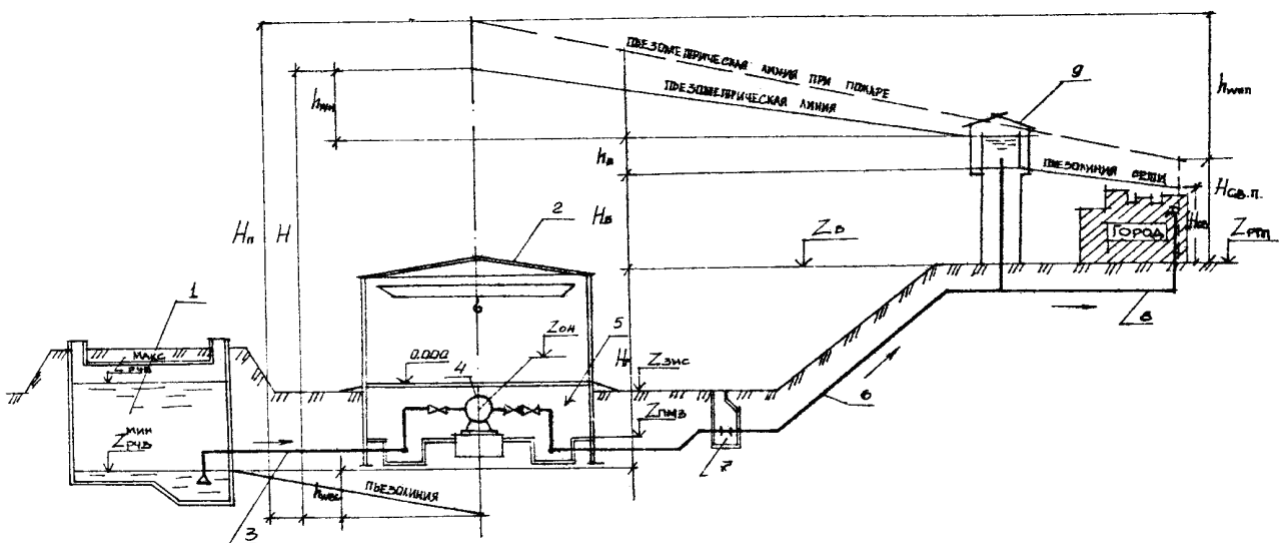
У системах водопостачання з напірно-регулюючою спорудою графік східчастої роботи насосів наближають до графіка добового водоспоживання. При цьому максимальну подачу насосної станції приймають менше максимальних годинних витрат води в системі.

При подачі води насосами II підйому, що перевищує водоспоживання в ці години доби, надлишок води надходить у ємкість, що акумулює (водонапірну башту).

У години доби, коли водоспоживання перевищує подачу, що бракує кількість води надходить у мережу з ємкості, що акумулює.

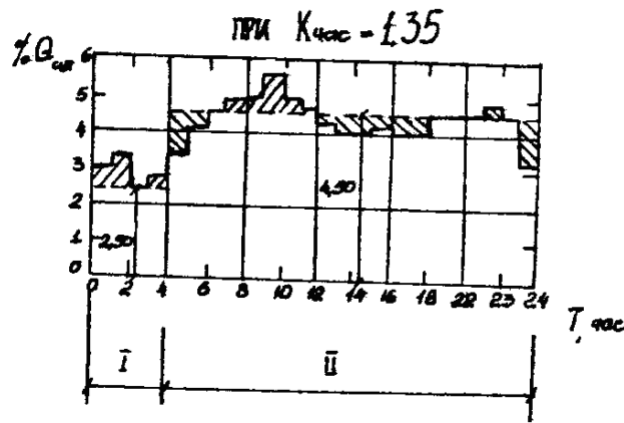
При визначенні подачі насосної станції II підйому необхідно знайти оптимальний варіант режиму її роботи- мінімальну місткість ємкості, що акумулює, і найменшу частоту включення насосних агрегатів.

При східчастій роботі насосної станції об'єм ємкості, що акумулює, звичайно приймають рівним 2,...6,0% добової подачі станції, а при рівномірної - 8...15 ...15 %.



**Рис. 1.17 – Схема подачі води з РЧВ у систему з вежею на початку мережі:**

- 1** – резервуар чистої води (РЧВ); **2** – насосна станція II підйому (НС II);  
**3** – всмоктуючі труби; **4** – насосні агрегати; **5** – машинний зал станції;  
**6** – напірні труби (водоводи); **7** – витратоміри; **8** – водопровідна мережа міста; **9** – водонапірна вежа.



**Рис. 1.18 - Сполучений графік водоспоживання і подачі води насосної станції:**

- I - години роботи I ступеня насосів
- II - години роботи II ступеня насосів
- водоспоживання міста
- - подача НС II у місто

Регулююча ємкість дорівнює максимальному залишку в баці. При негативних і позитивних величинах залишку регулююча ємкість дорівнює сумі абсолютних величин максимальної негативної і максимальної позитивної.

При двоступінчастій роботі насосної станції ( пунктирна лінія на графіку рис. 1.18) подача води в мережу відбувається в такому режимі:

насоси I ступеня працюють з 0 до 4-х годин і подають щогодини  $Q_{\text{час}} = 2,50$  %  $Q_{\text{сут}}$ ;

насоси II ступені працюють з 4 до 24 годин і подають у щогодини  $q_{\text{часII}} = 4,50$  %  $Q_{\text{сут}}$ .

Визначають максимальну продуктивність кожної групи робочих насосів (годинна і секундна).

**Г р у п а.** Максимальна годинна продуктивність,  $\text{м}^3/\text{год}$

$$Q_{\text{чI}}^{\text{макс}} = \frac{Q_{\text{сут}}^{\text{макс}} \cdot 2,50}{100}. \quad (1.25)$$

Максимальну секундну продуктивність, л/с знаходять за формулою (1.21)

**Г р у п а.** Максимальна годинна продуктивність, м<sup>3</sup>/год

$$Q_{\text{чП}}^{\text{макс}} = \frac{Q_{\text{сут}}^{\text{макс}} \cdot 4,50}{100}. \quad (1.26)$$

Максимальну секундну продуктивність, л/с визначають за формулою (1.23)

Повний напір насосів, м,

$$H = H_{\Gamma} + H_{\text{Б}} + h + h_{\text{WBC}} + h_{\text{WH}}, \quad (1.27)$$

де  $H_{\Gamma} = Z_{\text{В}} - Z_{\text{рчв}}^{\text{МИН}}$  - геометричний напір, м;

$Z_{\text{В}}$  - позначка землі у водонапірної башні, м;

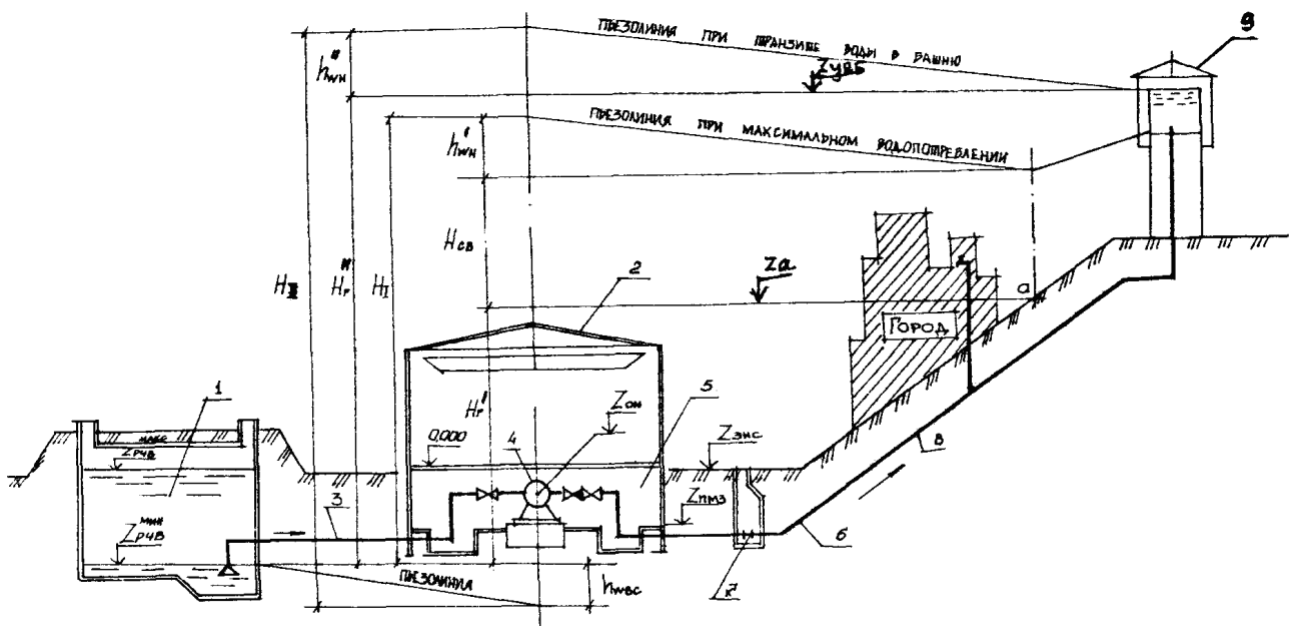
$Z_{\text{рчв}}^{\text{МИН}}$  - оцінка мінімального рівня води в РЧВ, м;

$H_{\text{Б}}$  - висота водонапірної башні, м;

$h_{\text{Б}}$  - висота баків водонапірної башні, м;

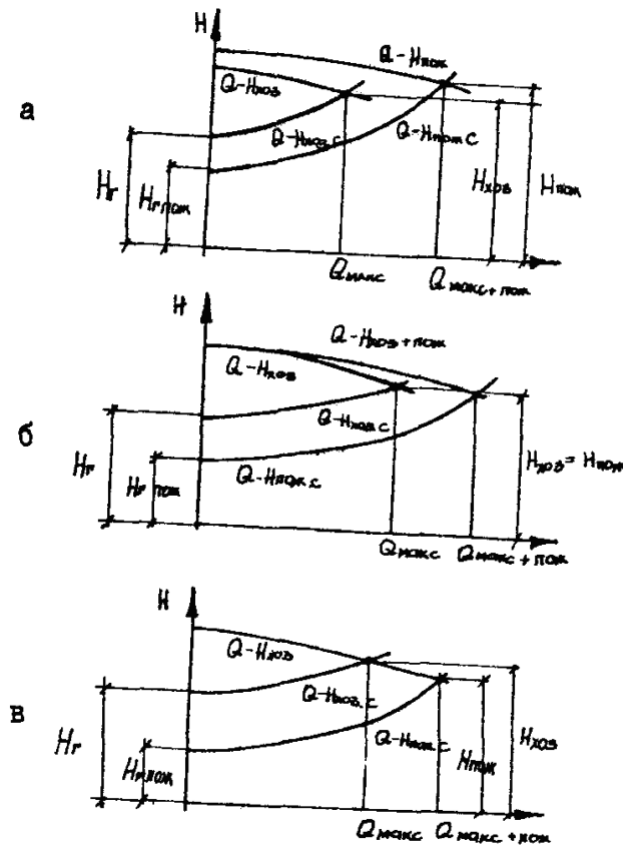
$h_{\text{WBC}}$  - втрати напору у всмоктувальних трубах, м.

$h_{\text{WH}}$  - втрати напору в напірних трубах, м.



**Рис. 1.19 – Схема подачі води з РЧВ у систему з контррезервуаром:**

- 1 – резервуар чистої води (РЧВ); 2 – насосна станція II підйому (НС II);
- 3 – всмоктуючі труби; 4 – насосні агрегати; 5 – машинний зал станції;
- 6 – напірні труби (водоводи); 7 – витратоміри; 8 – водопровідна мережа міста; 9 – водонапірна вежа (контррезервуар).



**Рис. 1.20 - Характеристики спільної роботи насосної станції і мережі при пожежі**

Втрати напору  $h_{wbc}$  і  $h_{wn}$  визначають після підбору діаметрів труб.

Аналіз роботи НСП за схемою 2 виконують у двох розрахункових випадках:

- максимального водоспоживання;
- гасіння пожежі в місті.

**Схема 3.** Подача води з РЧВ у систему з контррезервуарами (рис 1.19.)

Визначення режиму роботи насосної станції, ємкості баків регулюючих споруд, необхідної продуктивності груп робочих насосів виконують аналогічно схемі 2.

При визначенні розрахункових напорів насосів у системах з контррезервуаром треба враховувати режим роботи насосної станції, різний при максимальному і мінімальному водоспоживанні.

У години максимального водоспоживання в точку водогінної мережі, що диктує (точку сходу а) частина води надходить з насосної станції, а інша частина - з водонапірної башти.

Повний напір, м,

$$H_I = H'_M + h_{wbc} + h'_{wh} + H_{cb} \quad (1.28)$$

де  $H'_M = Z_a + Z^{мин}$  - геометричний напір, м;

$Z_a$  - оцінка точки сходу (диктуючої крапки мережі);

$Z_{рчв}^{мин}$  - відмітка мінімального рівня води в РЧВ, м;  $h_{wbc}$  - втрати напору у всмоктувальних трубах, м;

$h'_{wh}$  - втрати напору у водоводах і мережі на ділянці від НСП до точки сходу, м;

$H_{cb}$  - вільний напір у мережі, м.

Втрати напору  $h_{wbc}$  і  $h'_{wh}$  визначаються після підбору діаметрів труб [3].

У години мінімального водоспоживання надлишок води, подаваний насосами НС II у мережу, надходить транзитом у вежу.

Повний напір, м

$$H_{II} = H''_M + h_{wbc} + h''_{wh} \quad (1.29)$$

де  $H''_M = Z_{ybb} - Z_{рчв}^{мин}$  - геометричний напір, м;

$Z_{ybb}$  - оцінка розрахункового рівня води в баці водонапірної башти, м;  $Z_{рчв}^{мин}$  - відмітка мінімального рівня в РЧВ, м;

$h_{wbc}$  - втрати напору у всмоктувальних трубах, м;

$h''_{wh}$  - втрати напору в трубах на ділянці від НСП до водонапірної башти, м.

Втрати напору  $h_{wbc}$  і  $h''_{wh}$  визначають після підбору діаметрів труб [3].

Напір насосів слід приймати рівним найбільшому з отриманих з розрахунку. Як правило, найбільшим є напір при транзитній подачі води у вежу.

Аналіз роботи НС II за схемою 3 виконують у трьох випадках:

- 1) максимальне водоспоживання;
- 2) транзитна подача води в контррезервуар;
- 3) гасіння пожежі в місті.

## РЕЖИМ РОБОТИ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ ПРИ ПОЖЕЖІ

При проектуванні систем водопостачання міст усі спорудження, у тому числі насосні станції, повинні бути розраховані на подачу води для гасіння пожежі, запас якої знаходиться в резервуарах чистої води. Протипожежні водопроводи, як правило, поєднуються з господарсько-питними за способами гасіння пожежі розрізняють водопроводи високого і низького тиску. Перша система застосовується звичайно на промислових об'єктах, друга – у населених пунктах.

У водопроводах низького тиску підвищення напору виробляється на час гасіння пожежі. Напір для одержання пожежних струменів у цих місцях мережі створюється пересувними пожежними насосами, подвозючими до місця пожежі і забираючими воду з мережі через вуличні гідранти, при цьому напір у будь-якій крапці мережі повинний бути не менш 10 м.

Під час гасіння пожежі насосна станція II підйому повинна збільшити не тільки кількість подаваної води (подача насосів  $Q_c$ ), але в деяких випадках і напір  $H$ .

Для цього на насосних станціях II підйому передбачається розміщення спеціальних пожежних насосів, що включаються в роботу при виникненні пожежі замість господарських чи насосів на додаток до них.

Повний напір насосів у момент пожежі, м (див. рис. 1.17)

$$H_n = H_{гн} + h_{wвсп} + h_{wнп} + H_{свп}, \quad (1.30)$$

де  $H_{гн} = Z_{рп} - Z_{рчв}^{мин}$  - геометричний напір при пожежі, м;  
 $Z_{рп}$  - оцінка землі в розрахунковій точці пожежі (РТП), м;  
 $Z_{рчв}^{мин}$  - оцінка мінімального рівня води в РЧВ, м;  
 $h_{wвсп}$  - втрати напору у всмоктувальній трубі при пожежі, м;  
 $h_{wнп}$  - втрати напору у водоводах і мережі при пожежі на ділянці від НСП до розрахункової точки пожежі, м;  
 $H_{свп}$  - вільний напір у розрахунковій точці пожежі, м: ( $H \geq 10$  м вод.ст.).

На схемі (рис. 1.17) пунктирною лінією показана п'єзометрична лінія в напірних комунікаціях від НС II до РТП при пожежі.

П'єзометрична лінія при пожежі може пройти нижче чи вище рівня води в баци водонапірної башти. При цьому на період пожежі вежу відключають.



Залежно від співвідношення втрат напору  $h_{\text{внп}}$  і величини вільного напору  $H_{\text{свп}}$ , напір насосів при пожежі  $H_{\text{п}}$  може бути більше, дорівнювати чи менше напору в системі при максимальному водоспоживанні  $H$ .

При розрахунку водопроводів на випадок пожежі припускають, що пожежа може виникнути в годину максимального водоспоживання міста, у найбільш вилучених від джерел живлення і високо розташованих точках території міста ( розрахункову точку пожежі РТП).

Насосні станції II підйому в момент виникнення пожежі повинні забезпечити в місті подачу  $Q'_c$ , л/с, рівну сумі двох величин

$$Q'_c = Q_c^{\text{макс}} + Q_{\text{п}}, \quad (1.31)$$

де  $Q_c^{\text{макс}}$  – максимальна секундна подача НС II в годину максимального водоспоживання, л/с, знаходять за формулою (1.23);  
 $Q_{\text{п}}$  - секундна подача НСП при розрахунковій витраті води на гасіння пожежі, л/с.

Розрахункову витрату води на зовнішнє пожежогасіння в населеннях пунктах приймають відповідно до вимог СНІП залежно від числа жителів і поверховості будинків у місті за допомогою табл.1.6.

Таблиця 1.6

Число жителів у населеному пункті, тис. чол.	Розрахункова кількість одночасних пожеж	Витрата води на одну пожежу, л/с	
		Будинку висотою до 2-х поверхів	Забудова будинками 3 поверхів і вище
До 1	1	5	10
Св. 1 до 5	1	10	10
10 10	1	10	15
10 25	2	10	15
25 50	2	20	25
50 100	2	25	35
100 200	3	-	40
200 300	3	-	55
300 400	3	-	70
400 500	3	-	80
500 600	3	-	85
600 700	3	-	90
700 800	3	-	95
800 1000	3	-	100

Розрахункова кількість мешканців у місті, чол.,

$$N_{\text{ж}} = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot 1000}{q_{\text{ж}}}, \quad (1.32)$$

де  $Q_{\text{сут}}$  - розрахункова (середня за рік) добова витрата води на господарсько-питні потреби в місті, м<sup>3</sup>/доб:

$$Q_{\text{сут}} = \frac{Q_{\text{сут}}^{\text{макс}}}{K_{\text{сут}}^{\text{макс}}};$$

Тут  $Q_{\text{сут}}^{\text{макс}}$  - витрата води за добу максимального водоспоживання, м<sup>3</sup>/доб;

$K_{\text{доб}}^{\text{макс}}$  - коефіцієнт добової нерівномірності водоспоживання (приймається

$K_{\text{доб}}^{\text{макс}} = 1,1 \dots 1,3$ );

$q_{\text{ж}}$  - питома середньодобова (за рік) водоспоживання на господарсько-питні потреби населення, л/доб, чол.; приймається в залежності від рівня благоустрою будинків та інших умов (табл. 1.7).

Таблиця 1.7

Рівень благоустрою районів житлової забудови	Питома господарсько-питне водоспоживання в населених пунктах на одного жителя середньодобове (за рік), $q_{\text{ж}}$ л/доб
Забудова будинками, обладнаними внутрішнім водопроводом і каналізацією без ванн	125 – 160
з ванними і місцевими водонагрівачами	160 – 230
з централізованим гарячим водопостачанням	230 – 350

При відомому числі жителів і прийнятому характері районів житлової забудови міста за табл. 1.6 визначають розрахункові дані щодо витрати води на зовнішнє пожежогасіння:

$n$  – розрахункова кількість одночасних пожеж;

$q_{\text{п}}$  – витрата води на одну пожежу, л/с.

Секундна подача насосів НСП на гасіння пожежі, л/с,

$$Q_{\text{п}} = n q_{\text{п}}. \quad (1.33)$$

При визначенні режиму роботи насосів НСП у момент виникнення пожежі розглядають три основних випадки, що розрізняються співвідношеннями необхідного напору при пожежі  $H_{\text{п}}$  і напору, що розвивається господарськими насосами  $H$ :

- 1)  $H_{\text{п}} > H$ ;
- 2)  $H_{\text{п}} = H$ ;
- 3)  $H_{\text{п}} < H$ .

Характеристики спільної роботи насосів і водогінної мережі в господарському режимі роботи  $Q$ -  $H_{\text{хоз}}$  і при виникненні пожежі  $Q$ -  $H_{\text{пож}}$  приведені на рис.1.20.

**Випадок 1.** Необхідний напір при пожежогасінні  $H_{\text{п}}$  більше напору господарських насосів  $H$  (мал. 1.20, а). У НСП встановлюють протипожежні насоси необхідної подачі  $Q_{\text{п}}$  і напору  $H_{\text{п}}$ , що включаються в момент виникнення пожежі і забезпечують у місті максимальне водоспоживання  $Q_{\text{с}}^{\text{макс}}$  і протипожежну витрату  $Q_{\text{п}}$ . У період роботи пожежних насосів господарські насоси виключають. Подачу пожежних насосів  $Q'_{\text{с}}$  НСП визначають за формулою (1.31).

**Випадок 2.** Необхідний напір при пожежегасінні  $H_{\text{п}}$  дорівнює напору господарських насосів  $H$  (рис.1.20, б). У НСП встановлюють протипожежні насоси необхідної подачі  $Q_{\text{п}}$  і напору  $H_{\text{п}}$ , що включаються в момент виникнення пожежі на додаток до працюючих господарських насосів, що забезпечують  $Q_{\text{с}}^{\text{макс}}$  і  $H$  системи.

Подачу пожежних насосів  $Q_{\text{п}}$  НСП знаходять за формулою (1.33).

**Випадок 3.** Необхідний напір при пожежогасінні  $H_{\text{п}}$  менше напору господарських насосів  $H$  (рис. 1.20, в). У насосній станції протипожежні насоси не встановлюють.

Сумарна подача при пожежі знайдена за формулою (1.31), забезпечується працюючими господарськими насосами за рахунок зниження розрахункового напору  $H$  в період пожежогасіння. Через короткочасність пожежогасіння допускається робота господарських насосів поза робочою частиною головної характеристики, що рекомендується  $Q$ -  $H_{\text{госп}}$  з деяким зниженням ККД.

## ВИБІР КІЛЬКОСТІ НАСОСІВ, УСТАНОВЛЮВАНИХ НА СТАНЦІЇ

До складу основного устаткування насосних станцій входять насосні агрегати:

1) робочі:

а) господарські;

б) протипожежні;

2) резервні.

Після визначення режиму роботи насосної станції (рівномірного чи східчастого) і підбору числа ступенів (груп насосів) встановлюють кількість робочих і резервних насосів у кожній групі.

При виборі числа робочих і резервних насосів керуються наступними міркуваннями:

1. Число робочих агрегатів однієї групи повинне бути не менше двох.

2. Рівнобіжна робота декількох насосів економічно не вигідна. Тому потрібно встановлювати в насосній станції якнайменше робочих насосів з більш високим ККД.

Сумарна подача декількох насосів при рівнобіжній роботі завжди менше, ніж сума їхніх подач при роздільній роботі.

Практика показує, що сумарна подача двох насосів, які працюють паралельно, приблизно на 10 % менше суми їхніх одиночних подач, а трьох насосів - 15 %. Зменшення сумарної подачі уточнюють після вибору насосів.

3. Насоси повинні працювати в області максимальних ККД. Короткочасні подачі (наприклад, при пожежі) можливі з більш низьким ККД.

4. У насосних станціях доцільно встановлювати насоси одного типорозміру, що зручно при експлуатації.

5. подача робочих господарських насосів повинна забезпечувати максимальне водоспоживання в системі.

6. Подача робочих пожежних насосів повинна забезпечувати розрахункову витрату води на зовнішнє пожежогасіння.

7. Число пожежних насосів на станції встановлюється з урахуванням спільної їхньої роботи з господарськими насосами, залежно від режиму роботи станції в момент виникнення пожежі і співвідношення напорів мережі при пожежі  $H_{п}$  і при максимальному водоспоживанні міста  $Q_c^{\text{макс}}$ .

8. Число резервних агрегатів приймають залежно від категорії надійності станції і числа робочих агрегатів (табл. 1.7). У число робочих агрегатів включають і пожежні насоси. Разом з тим рекомендується приймати в будь-якому випадку не менше двох резервних агрегатів на станції.

Резервні насоси приймають з характеристикою, що відповідає найбільшому насосу, встановленому на станції. Резервний насос меншої подачі зберігається на складі.

Т а б л и ц я - 1.7

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

## ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКІВ ПО ВИЗНАЧЕННЮ ПОДАЧІ І НАПОРУ НАСОСІВ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ ВОДОПОСТАЧАННЯ

1. Установлюють схему подачі води насосною станцією споживачу в результаті аналізу системи: "джерело- насос-споживач".

Схеми подачі розрізняють:

а) для насосних станцій I підйому –

- 1) ріка – НСІ – очисні споруди;
- 2) шпара – НСІ – резервуари чистої води (РЧВ);
- 3) шпара – НСІ – водонапірна мережа міста.

б) для насосних станцій I I підйому –

- 1) РЧВ – НСП – водогінна мережа;
- 2) РЧВ – НСП – водопровідна вежа – мережа;
- 3) РЧВ – НСП – водопровідна вежа (контррезервуар).

2. Встановлюють добовий режим роботи насосної станції, обумовлений режимом водоспоживанням:

- а) рівномірний (цілодобовий);
- б) нерівномірний (східчастий).

Як правило, НСІ розраховують на рівномірну подачу води, а НСП – на східчасту (дво- чи триступінчасту), що встановлюється за графіком водоспоживання і подачі води насосами (або за допомогою таблиць).

3. Визначають подачу насосної станції, л/с:

- а) при рівномірній роботі насосів – середня секундна  $Q_c$
- б) при східчастій роботі – максимальна секундна  $Q_c^{\text{макс}}$  по групах насосів.

4. Встановлюють кількість всмоктувальних і напірних трубопроводів. Визначають їхні діаметри і втрати напору.

У НСІ число всмоктувальних труб приймають рівним числу насосів. Разом з тим з метою забезпечення безперебійної роботи системи діаметри і втрати напору в цих трубах визначають за повною розрахунковою витратою води в системі  $Q_p = Q_c$ .

У НСІ приймають два напірних трубопроводи, кожний з яких розраховують на витрату  $Q_p = 0,5 Q_c$ .

У НСП приймають, як правило, два всмоктувальних і два напірних трубопроводи, діаметри і втрати напору в яких підбирають за витратою  $Q_p = 0,5 Q_c^{\text{макс}}$  (для групи насосів з максимальною годинною витратою води).

5. Визначають повний напір насосів насосної станції з урахуванням геометричної висоти підйому води  $H_T$  і втрат напору в трубопроводах і комунікаціях станції.

6. Визначають кількість насосних агрегатів на станції. До складу основного устаткування насосних станцій входять насоси:

робочі (господарські) – для забезпечення максимального водоспоживання в системі;

пожежні – для пожежогасіння в місті;

резервні – для забезпечення безперебійної роботи системи.

### Кількість робочих (господарських) насосів

У НСІ приймають не менше двох однотипних насосів, кожний з яких розраховують на подачу, рівну  $0,5 Q_c$  станції, і перевіряють на повну витрату  $Q_c$ .

У НСІІ при дво- чи триступінчастій роботі насосів встановлюються дві (чи три) групи насосів, кожен з яких розраховують на максимальну годинну продуктивність своєї групи.

Кількість насосів у кожній групі встановлюють аналізом роботи системи "насоси - водоводи - мережа" за умови забезпечення оптимального ККД станції. На НСІІ при двоступінчастій роботі може бути прийнято три (чи два) робочі насоси, два (чи один) з яких працюють цілодобово, забезпечуючи подачу I ступеня, а один насос включають в годинник максимальної подачі (II ступень), підвищуючи продуктивність станції в цей час і виключаючи після зниження водоспоживання.

На НСІІ може бути встановлений один чи два насоси I групи й один чи два насоси II групи, причому кожна з груп працює тільки у свій проміжок часу.

### Кількість пожежних насосів

Пожежні насоси встановлюють в НС ІІ.

Напір  $H_p$  і подачу  $Q_p$  насосів при гасінні пожежі визначають відповідно до вимог СНІП [3].

Кількість пожежних насосів, встановлюваних на станції, визначається режимом роботи НСІІ при пожежі.

У НСІІ встановлюють один чи два пожежних насоси, якщо напір при пожежі  $H_p$  перевищує напір при максимальному водоспоживанні  $H$ . При цьому пожежні насоси розраховують на сумарну подачу води (при максимальному водорозборі  $Q_c^{\text{макс}}$  і при пожежі) і на напір при пожежі  $H_p$ .

Господарські насоси в період пожежі виключають.

У випадку, коли  $H_{\text{п}} = H$ , на НСП встановлюють один чи два пожежних насоси, розрахованих на подачу  $Q_{\text{п}}$  і напір  $H_{\text{п}}$ , що включаються в роботу в період пожежі на додаток до працюючого в цей час господарського насоса.

### Кількість резервних насосів

Кількість резервних насосів приймають залежно від категорії надійності станції і числа робочих насосів (включаючи пожежні) відповідно до вимог СНіП [3], але у всіх випадках рекомендується приймати не менше двох на станції.

7. Залежно від призначення станції, продуктивності та інших умов вибирають тип насосів, установлюваних на станції (К, КМ, Д, В и т. д.).

8. У каталозі насосів [2] за графіком їх головних характеристик необхідного типу вибирають найближчий за подачею  $Q$  і напором  $H$ .

Вивчають характеристики обраного насоса  $H-Q$ ,  $\eta - Q$ ,  $N-Q$  і визначають заходи щодо забезпечення роботи насоса в умовах оптимальних ККД.

## **ПІДБІР НАСОСІВ І ЗАХОДІВ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇХНЬОЇ РОБОТИ В ОПТИМАЛЬНОМУ РЕЖИМІ**

Насоси підбирають залежно від призначення та умов роботи з розрахункових значень: подачі  $Q_{\text{р}}$  і напору  $H_{\text{р}}$  необхідного типу насосів (К, Д, В и т.д.). За графіком полів  $Q-H$  вибирають найближчий по  $Q_{\text{р}}$  і  $H_{\text{р}}$  насос. З каталогу-довідника перезнімається графік характеристик насоса  $Q-H$ ;  $Q-N$ ;  $Q-\eta$ ;  $Q-H^{\text{доп}}_{\text{вак}}$ . Вивчається розташування розрахункової точки на графіку (рис.1.21). В окремих випадках розрахункова точка (з координатами  $Q_{\text{р}}$  і  $H_{\text{р}}$ ) попадає на лінію  $Q-H$  поблизу режимної точки  $P$ ; як правило, розрахункова точка розташовується нижче її. Отже, при розрахунковій подачі  $Q_{\text{р}}$  такого насоса в систему водопостачання буде спостерігатися надлишковий напір  $H_{\text{из}} = H - H_{\text{р}}$ . Невеликий за величиною надлишковий напір ( $H_{\text{из}} \leq 2$  м) вважається припустимим.



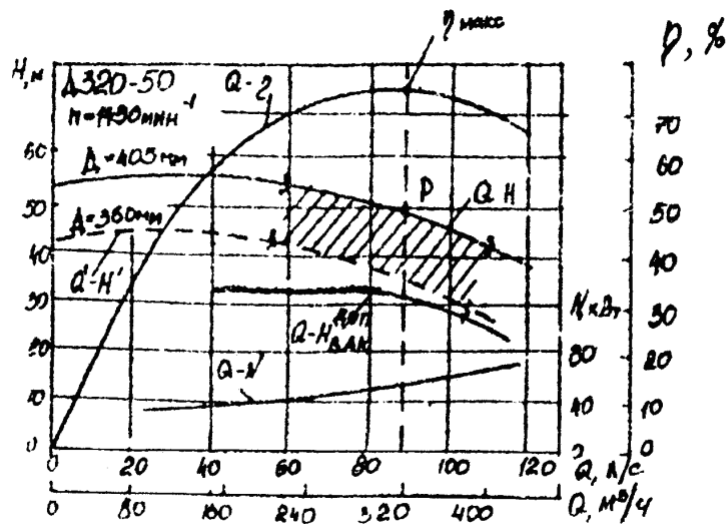


Рис. 1.21 - Характеристики насоса Д 320-50

При великій величині (Низ > 2 м) виникає необхідність зниження напору насоса до розрахункової величини Н, зміни характеристик стандартного насоса, наближення їх до розрахункових параметрів.

Відомі два заходи "припасування" насоса:  
 зменшення частоти обертання робочого колеса n;  
 зрізання (обточування) робочого колеса за його зовнішнім діаметром  $D_2$ .

## ЗМІНА ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ РОБОЧОГО КОЛЕСА НАСОСА

Закони подібності відцентрових насосів (натури і моделі):

для подачі 
$$\frac{Q_H}{Q_M} = \left( \frac{n_H}{n_M} \right) \left( \frac{D_H}{D_M} \right)^3; \quad (1.34)$$

для напору 
$$\frac{H_H}{H_M} = \left( \frac{n_H}{n_M} \right)^2 \left( \frac{D_H}{D_M} \right)^2; \quad (1.35)$$

для потужності 
$$\frac{N_H}{N_M} = \left( \frac{n_H}{n_M} \right)^3 \left( \frac{D_H}{D_M} \right)^5; \quad (1.36)$$

де  $Q_H, H_H, N_H, n_H, D_H$  - подача, напір, потужність, частота обертання і діаметр зовнішнього кола робочого колеса натурального колеса;  
 $Q_M, H_M, N_M, D_M$  - те ж модельного насоса.

На підставі законів подібності при переході на іншу частоту обертання робочого колеса (з  $n$  на  $n_1$ ) того ж насоса

при  $D = \text{const}$  ( $\frac{D_H}{D_M} = 1$ ), має місце закон пропорційності:

$$\frac{Q}{Q_1} = \left( \frac{n}{n_1} \right); \quad (1.37)$$

$$\frac{H}{H_1} = \left( \frac{n}{n_1} \right)^2; \quad (1.38)$$

$$\frac{N_H}{N_M} = \left( \frac{n}{n_1} \right)^3. \quad (1.39)$$

З рівнянь (1.37) і (1.38) (складові рівняння, (1.37) зведені в квадрат) одержуємо співвідношення подач і напорів:

$$\left( \frac{Q}{Q_1} \right)^2 = \frac{H}{H_1};$$

звідки 
$$H_1 = \frac{H}{Q^2} \cdot Q_1^2 = \text{const} Q_1^2. \quad (1.40)$$

Формула (1.40) являє собою рівняння параболи з вершиною на початку координат (парабола подібних режимів): геометричне місце точок, що визначають режими роботи насоса при іншій частоті обертання колеса  $n_2$ ,  $n_j$ , подібні до режиму в точці на лінії головної характеристики насоса при частоті обертання  $n$ .

Як приклад на рис. 1.21 показані характеристики насоса  $Q - H$ ,  $Q - N$ ,  $Q - \eta$ ,  $Q - H^{\text{доп}}_{\text{вак}}$  двостороннього входу Д 320-50, при  $n = 1450$  хв<sup>-1</sup> діаметр робочого колеса по зовнішньому обводу  $D = 405$  мм.

Пунктирна лінія  $Q_1 - H_1$  – характеристика насоса при максимально припустимому зрізанні колеса, відповідна  $D_{\text{ср}} = 360$  мм.

Максимальному значенню ККД відповідає подача  $Q_p$  і напір  $H_p$  (розрахункові параметри). Точка Р головної характеристики  $Q - H$ , що відповідає максимальному значенню ККД ( $\eta_{\max}$ ) – оптимальна режимна точка.

Технічні характеристики насоса, що відповідають головній режимній точці, приводяться в паспорті насоса (табл. 1.8).

Т а б л и ц я 1.8

Типорозмір (марка)	Подача, Q		Повний напір H, м	Частота обертання n, хв <sup>-1</sup>	Потужність електродвиг уна N, квт	Припустима вакуумметрич на висота H <sub>вак</sub> <sup>доп</sup> , м	ККД насоса η, %
	м <sup>3</sup> /ч	л/с					
Д 320-50	320	89	50	1450	60	4,5	0,76

Насос слід підбирати так, щоб робоча подача Q відповідала максимальному (чи близькому до нього) значенню ККД. Відхилення ККД обраного насоса не повинні бути більше 10% максимальному ( $\eta_{\max}$ ).

Поле графіка (заштриховане на рис. 1.21) між характеристиками  $Q - H$  при номінальному діаметрі колеса ( $D = 405$  мм) і  $Q_1 - H_1$  при максимально припустимому зрізанні колеса ( $D_{\text{порівн}} = 360$  мм) і звивистими лініями, що відповідають подачам у межах відхилень, що рекомендуються, ККД називають полем насоса - область застосування, що рекомендується, насоса.

Методику побудови нової характеристики насоса при зміні частоти обертання робочого колеса (з n на  $n_1$ ) можна показати на прикладі. На рис. 1.20 приведена головна характеристика  $Q - H$  насоса Д 320-50 (6 НДа) при  $n = 1450$  хв<sup>-1</sup>;  $D = 405$  мм.

Вибравши на лінії  $Q - H$  за допомогою рівняння (1.40) чотири точки 1, 2, 3, 4, побудуємо параболи подібних режимів I, II, III, IV.

Знаючи координати вихідних і точок 1, 2, 3, 4 і приймаючи довільно значення подач  $Q_1$ , за рівнянням (1.40) знаходимо відповідні їм напори  $H_1$ .

**Парабола I.** Точка I. Координати  $Q = 40$  л/с =  $0,040$  м<sup>3</sup>/з,  $H = 58$  м.

$$H_1 = \frac{H}{Q^2} \cdot Q_1^2 = \frac{58}{0,04^2} \cdot Q_1^2 = 36250 \cdot Q_1^2.$$

$Q_1$ л/с	10	20	30	40	50
$H_1$ , м	3,63	14,5	32,6	58	73,7

**Парабола II.** Точка 2.  $Q = 60$  л/с = 0,060 м<sup>3</sup>/з;  $H = 56$  м.

$$H_1 = \frac{56}{0,06^2} \cdot Q_1^2 = 15\,555 Q_1^2$$

$Q$ л/с	20	40	50	60	65
$H$ , м	6,22	24,9	38,9	56	65,7

**Парабола III.** Точка 3.  $Q = 89$  л/с = 0,089 м ;  $H = 50$  м.

$$H_1 = \frac{50}{0,089^2} \cdot Q_1^2 = 6320 Q_1^2$$

$Q$ л/с	20	40	60	80	89	90
$H$ , м	2,53	10,2	22	40,4	50	51,2

**Парабола IV.** Точка 4.  $Q = 110$  л/с = 0,110 м<sup>3</sup>/з;  $H = 43$  м.

$$H_1 = \frac{43}{0,110^2} \cdot Q_1^2 = 3550 Q_1^2$$

$Q_1$ л/с	20	40	60	80	100	110	120
$H_1$ , м	1,42	5,68	12,8	22,7	35,5	43	51,5

На рис. 1.22 за розрахунковими точками побудовані параболи подібних режимів.

Змінюючи частоту обертання робочого колеса, можна побудувати нову характеристику насоса  $Q - H$ .

Насос Д 320-50 укомплектований двигуном з частотою обертання  $n_1 = 960$  хв<sup>-1</sup>. Характеристиці стандартного насоса відповідає частота обертання  $n_1 = 1450$  хв<sup>-1</sup>

Необхідно перерахувати характеристики насоса на  $n_1 = 960$  хв<sup>-1</sup>. Довільно на лінії  $Q - H$  (при  $n = 1450$  хв<sup>-1</sup>) змінюють свої координати відповідно до законів пропорційності (1,37), (1,38).

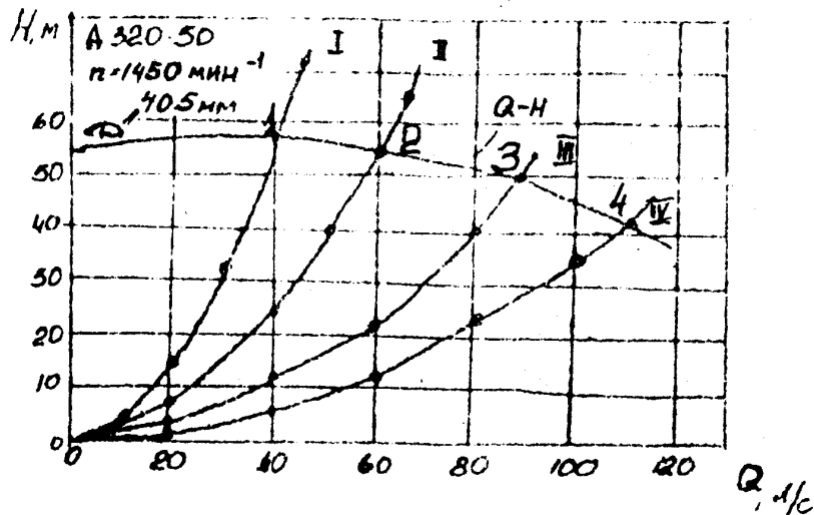


Рис.1.22 - Побудова парабол подібних режимів

При цьому: подача  $Q_1 = \frac{Q}{n/n_1}$ ;

напір  $H_1 = \frac{H}{(n/n_1)^2}$ ;

$$\frac{n}{n_1} = \frac{1450}{960} = 1,51;$$

Тоді  $Q_1 = \frac{Q}{1,51}$ ;  $H_1 = \frac{H}{2,28}$ .

Перерахування характеристики насоса  $Q - H$  при  $n = 1450 \text{ хв}^{-1}$  на нову частоту обертання  $n_1 = 960 \text{ хв}^{-1}$  виконуємо за табл. 1.9

Т а б л и ц я 1.9

Розрахункові точки QH	n=1450 хв <sup>-1</sup>		Розрахункові точки Q <sub>1</sub> -H <sub>1</sub>	n <sub>1</sub> =960 хв <sup>-1</sup>	
	Q, л/с	H, м		Q <sub>1</sub> , л/с	H <sub>1</sub> , м
1	40	58	1 <sub>I</sub>	25,5	25,4
2	60	56	2 <sub>I</sub>	39,8	24,6
3	89	50	3 <sub>I</sub>	59	21,9
4	110	43	4 <sub>I</sub>	72,8	18,9

На рис. 1.23 за розрахунковими точками 1<sub>I</sub>, 2<sub>I</sub>, 3<sub>I</sub>, 4<sub>I</sub> побудована характеристика насоса Д 320-50 Q<sub>1</sub>-H<sub>1</sub> при частоті обертання робочого колеса  $n_1 = 960 \text{ хв}^{-1}$ .

Розрахункові точки  $1_I, 2_I, 3_I, 4_I$  розташовані на відповідних параболах подібних режимів I, II, III, IV.

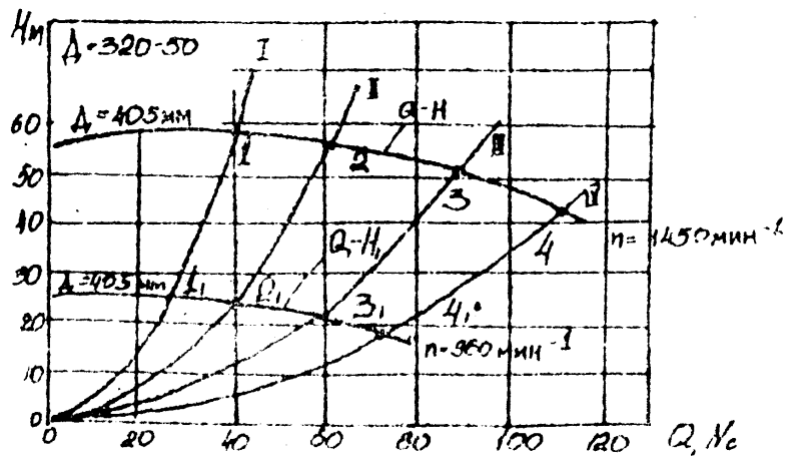


Рис. 1.23 - Побудова універсальних характеристик  $Q - H$  при  $n = 960 \text{ хв}^{-1}$ .

Для широко розповсюджених у практиці відцентрових насосів складені універсальні характеристики, що описують умови їхньої роботи при зміні частоти обертання робочого колеса.

Максимальне значення ККД відповідає тільки оптимальним умовам роботи насоса при значеннях  $Q, H$  і  $n$ , на які насос проектувався.

Практика показує, що робота насоса зі зниженою частотою обертання робочого колеса допускається, але підвищення частоти обертання більше ніж на 10 – 15 % має бути погоджене із заводом-виготовником.

Зміну частоти обертання робочого колеса з метою регулювання подачі виконують вкрай рідко, тому що сучасні електродвигуни не мають, як правило, регулювання частоти обертання.

Зміна характеристик насоса шляхом зменшення частоти обертання робочого колеса має практичне значення при комплектації насоса електродвигуном, що має іншу частоту обертання.

## ЗРІЗАННЯ РОБОЧОГО КОЛЕСА НАСОСА

Зрізання робочих коліс відцентрових насосів по зовнішньому діаметрі  $D$  застосовують у тих випадках, коли насос за напором  $H$  и подачею  $Q$  перевершує необхідні значення цих параметрів.

При зменшенні зовнішнього діаметра  $D$  робочого колеса зменшується колова швидкість  $u_2$  і, як наслідок, – напір  $H$  та подача  $Q$ .

Але, при зрізанні робочого колеса по зовнішньому діаметрі геометрична подібність порушується і закони подібності (1.34), (1.35), (1.36) не можуть бути використані в розрахунках.

Експериментальні дослідження показують, що співвідношення параметрів при зрізанні колеса багато в чому визначається коефіцієнтом швидкохідності  $n_s$ . Це питомий показник, що характеризує тип насоса завдяки тому, що одночасно враховуються три параметри: частота обертання, подача і напір.

Коефіцієнт швидкохідності

$$n_s = 3,65n \frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}}. \quad (1.41)$$

При обчисленні  $n_s$  у формулу (1.41) підставляють оптимальні значення подачі і напору (відповідні  $\eta_{\max}$ ), взяті з таблиць технічних характеристик (табл. 1.8) чи з графіків характеристик (рис. 1.21).

Для багатоступінчастих насосів типу ЦНС у формулу (1.41) входить значення напору  $H$  однієї ступіні; для насосів із двостороннім входом типу  $D$  у формулу входять замість  $Q$  значення  $Q/2$ .

Для насосів з  $n_s > 150$  співвідношення параметрів  $Q$ ,  $H$  стандартних і зрізаних коліс визначається рівняннями

$$\frac{Q_{ср}}{Q} = \left( \frac{D_{ср}}{D} \right)^2; \quad (1.42)$$

$$\left( \frac{H_{ср}}{H} \right)^2 = \left( \frac{D_{ср}}{D} \right)^3. \quad (1.43)$$

Для відцентрових насосів з  $n_s < 150$  співвідношення основних параметрів  $Q, H$  стандартних і зрізаних коліс отримано експериментально:

$$\frac{Q_{cp}}{Q} = \frac{D_{cp}}{D}; \quad (1.44)$$

$$\frac{H_{cp}}{H} = \left(\frac{D_{cp}}{D}\right)^2. \quad (1.45)$$

З рівнянь (1.44) і (1.45), звівши складники рівняння (1.44) у квадрат

$$\left(\frac{Q_{cp}}{Q}\right)^2 = \left(\frac{D_{cp}}{D}\right)^2; \quad \frac{H_{cp}}{H} = \left(\frac{D_{cp}}{D}\right)^2,$$

одержуємо

$$\left(\frac{Q_{cp}}{Q}\right) = \frac{H_{cp}}{H},$$

звідки

$$H = \frac{H_{cp}}{Q_{cp}^2} \cdot Q^2 = \text{const} \cdot Q^2, \quad (1.46)$$

- рівняння квадратичної параболи, що є параболою зрізання.

Ця лінія являє собою геометричне місце точок, що визначають режими роботи насоса при інших діаметрах робочого колеса  $D_{cp}$ , подібні до режиму роботи насоса при номінальному  $D$ .

Користаючись залежностями (1.44) і (1.45), можна побудувати характеристики насоса з обточеним робочим колесом. Діаметр  $D_{cp}$  знаходять з рівнянь і призначають найбільший за величиною.

$$D_{cp} = D \frac{Q_{cp}}{Q}; \quad (1.47)$$

$$D_{cp} = \sqrt{\frac{H_{cp}}{H}} \cdot D \quad (1.48)$$



Розглянемо на конкретному прикладі методику побудови нової характеристики Q-Н насоса при обточуванні його робочого колеса з номінального діаметра Д до обточеного Д<sub>сп</sub>.

На рис. 1.24 приведена головна характеристика насоса Д 320-50 при  $n = 1450 \text{ хв}^{-1}$ ;  $D = 405 \text{ мм}$ .

Розрахункова точка А характеризується параметрами:

подача  $Q = 80 \text{ л/с} = 0,80 \text{ м}^3/\text{з}$ ;

напір  $H = 40,4 \text{ м}$ .

Необхідно установити діаметр Д<sub>сп</sub> і побудувати характеристику Q<sub>сп</sub> - Н<sub>сп</sub>, щоб вона пройшла через точку А.

Коефіцієнт швидкохідності визначаємо за рівнянням (1.41):

$$n_s = \frac{3,65 \cdot 1450 \cdot \sqrt{0,089/2}}{50^{3/4}} = 58,5 \approx 60.$$

При  $n_s = 60 < 150$  за основу розрахунку прийняті співвідношення (1.44), (1.45).

За рівнянням (1.46) будемо параболу зрізання:

$$H = \frac{H_{сп}}{Q_{сп}^2} \cdot Q^2 = \frac{40,4}{0,08^2} \cdot Q^2 = 6315 \cdot Q^2.$$

Для обчислення Н задамося довільно подачею Q, л/с

Q, л/с	20	40	60	80	90	100
H, м	22,53	10,2	22,7	40,4	51,2	63,15

За розрахунковими точками Q, Н на рис. 1.24 побудована параболу зрізання, що перетинає головну характеристику насоса Q – Н (при Д = 405 мм) у точці Р з координатами:

$Q = 89 \text{ л/с}$  ;

$H = 50 \text{ м}$  .

Знаходимо діаметр зрізаного робочого колеса:

$$D_{ср} = D \cdot \frac{Q_{ср}}{Q} = 405 \frac{80}{90} = 364 \text{ мм};$$

$$D_{ср} = \sqrt{\frac{H_{ср}}{H}} \cdot D = \sqrt{\frac{40,4}{50}} \cdot 405 = 363 \text{ мм.}$$

Приймаємо діаметр зрізаного робочого колеса  $D = 364$  мм.

Зрізання колеса складає  $D - D_{ср} = 405 - 364 = 41$  мм.

$$\text{Відсоток зрізання} = \frac{D - D_{ср}}{D} \cdot 100 = \frac{405 - 364}{405} \cdot 100 = 10,1\%.$$

Межі зрізання коліс, що рекомендуються:

$n_s$	Відсоток зрізання
60-120	20-15
120-200	15-11
200-300	11-7

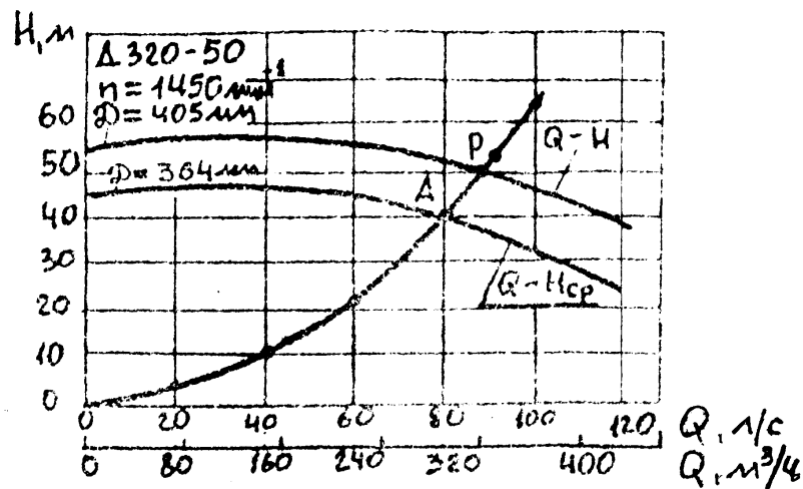


Рис. 1.24 - Характеристика насоса Д 320-50

У розрахунковому випадку при  $n_s = 60$  відсоток зрізання = 10,1 %, що в межах рекомендацій.

Будуємо характеристику  $Q_{ср} - H_{ср}$  насоса. Приймаючи довільно значення подач  $Q$ , по лінії  $Q - H$  (при  $D=405$  мм) установлюємо відповідні їм значення  $H$ .

Потім визначаємо  $Q$  порівн і  $H$  порівн для зрізаного колеса (при  $D$  порівн = 364мм).

Перерахування подач і напорів робимо на підставі залежності (1.44), (1.45):

$$\text{подача } Q_{\text{ср}} = \frac{D_{\text{ср}}}{D} \cdot Q = \frac{364}{405} \cdot Q = 0,9 \cdot Q ;$$

$$Q_{\text{ср}} = 0,9Q;$$

$$\text{напір } H_{\text{ср}} = \left(\frac{D_{\text{ср}}}{D}\right)^2 \cdot H = \left(\frac{364}{405}\right)^2 \cdot H = 0,81 \cdot H;$$

$$H_{\text{ср}} = 0,81H.$$

Результати перерахунку  $Q$  і  $H$  на  $Q_{\text{ср}}$  і  $H_{\text{ср}}$  приведені в табл. 1.10

Т а б л и ц я 1.10

$D=405$ мм		$D_{\text{ср}}=364$ мм	
$Q$ , л/с	$H$ , м	$Q_{\text{ср}}$ , л/с	$H_{\text{ср}}$ , м
20	58	18	47
40	58	36	47
60	56	54	45,3
70	54	63	43,25
80	52	72	42,1
89	50	80	40,5
1100	47	90	38,1
110	43	99	34,8
120	38,5	108	31,2

За даними табл. 1.10 будуємо головну характеристику насоса  $Q_{\text{ср}}$  ( $H_{\text{ср}}$  (див. мал. 1.24).

Зміни ККД насоса можна розрахувати за формулою

$$\eta_{\text{ср}} = 1 - (1 - \eta) \left(\frac{D}{D_{\text{ср}}}\right)^{0,25} . \quad (1.49)$$

Експериментально встановлено, що на кожні 10 % зрізання колеса насоса при коефіцієнтах  $\eta_s = 60...200$  ККД насоса зменшується на 1 %, а при  $\eta_s = 200...300$  - на кожні 4 % зрізання на 1 %.

Таким чином, при зрізанні робочого колеса ККД змінюється

## Модуль 2.

# Насосні станції каналізації

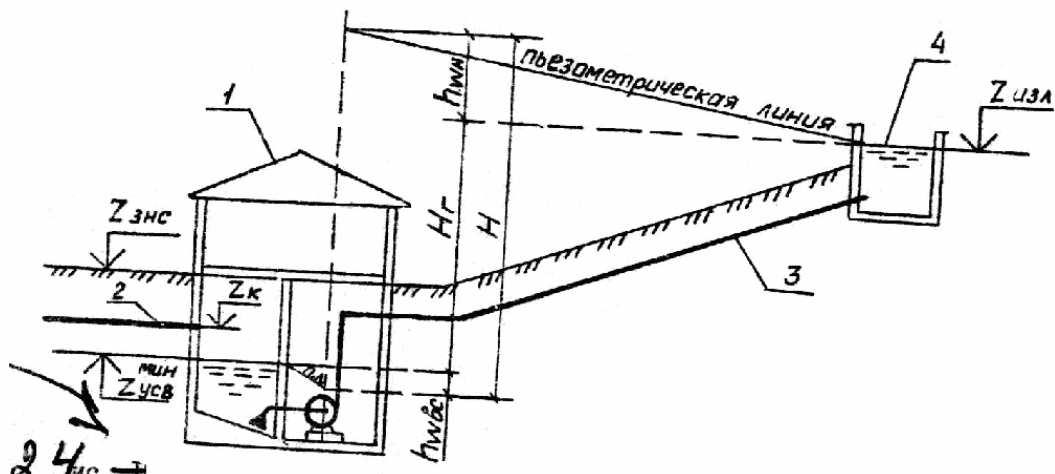
### *ЗМ 2.1. Конструкція ЦБН одноколісних двоколісних*

За основу при виконанні проекту прийнятий типовий проект каналізаційної насосної станції, застосовуваної при заглибленні колектора, що підводить, на 4 - 7 м. (рис.2.5).

Використання типового проекту рекомендується при проектуванні насосної станції каналізації для перекачування господарсько-побутових і близьких до них за складом виробничих стічних вод з попереднім очищенням їх від сміття на механізованих ґратах і наступному подрібненні зібраного сміття на дробарці конструкції Мосводоканал НДІ проект - Д-3, що має продуктивність 300-600 кг/год.

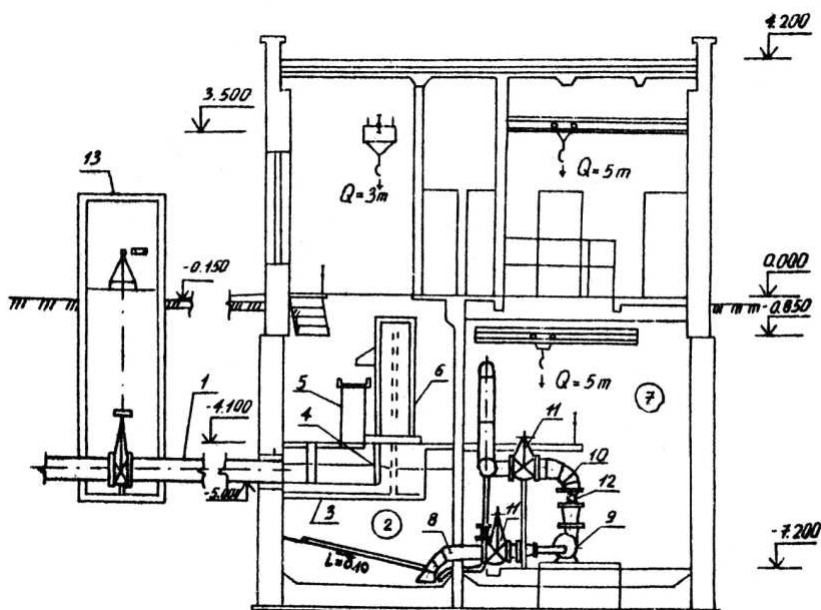
Розглядається каналізаційна насосна станція шахтного типу діаметром 11 м, сполучена з прийомним резервуаром. Такі станції рекомендується будувати поза зоною забудови житловими спорудами. При розміщенні станції в житловій зоні між житловими будинками і каналізаційною насосною станцією передбачається розрив 20 - 25 м і захисні зелені насадження.

Насосна станція запроектована для роботи в автоматичному режимі ( без постійного обслуговуючого персоналу ). Разом з тим у проекті передбачені приміщення для обслуговуючого персоналу на період налагодження і ремонтних робіт.



**Рис. 2.4 - Схема ділянки системи каналізації ГНС, водовода на очисні споруди**

1 - головна насосна станція ( ГНС ); 2 – підвідний колектор; 3 - напірні трубопроводи; 4 - камера гасіння напору очисних споруд ( ОС ) каналізації ;  
 $Z_{зп}$  - оцінка рівня стічних вод у точці злива;  $Z_{знс}$  - оцінка землі в насосної станції;  $Z_{до}$  - оцінка лотка колектора, що підводить;  $Z_{мін\ усл}$  - оцінка нижчого рівня стічних вод у прийомному резервуарі.



**Рис 2.5 - Типовий проект каналізаційної насосної станції.**

1 – підвідний колектор; 2 - прийомний резервуар; 3 - лоток завантажувальний;  
 4 - трати; 5 - механічні граблі; 6 - дробарка; 7 - машинний зал станції;  
 8 - всмоктувальна труба; 9 - насос; 10 - напірна труба; 11 - засувка;  
 12 - зворотний клапан; 13 - камера відключення з аварійним випуском.

Продуктивність станції:

750 м<sup>3</sup>/год при робочому насосі марки СМ 250 - 200 - 400 / 4 ;

1500 м<sup>3</sup>/год при двох робочих насосах марки СМ 250 - 200 - 400/4,  
 коефіцієнт корисної дії яких 71 %.

## **ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА ПРОЕКТУ**

Насосна станція каналізації шахтного типу складається з надземної і підземної частин. Остання, у свою чергу, розділяється на два приміщення: прийомний резервуар і машинне відділення станції. Підземна частина будинку - круглої форми в плані - з монолітного залізобетону, надземна частина - прямокутної форми - із цегли.

### **ПРИЙОМНИЙ РЕЗЕРВУАР**

Об'єм регулюючої ємкості прийомного резервуара розраховують відповідно до режиму роботи і величиною загальної подачі насосної станції: якщо регулюючий об'єм малий, то він не забезпечить рівномірності роботи станції; якщо ж він занадто великий, то з'явиться небезпека випадання великої кількості зважених речовин зі стічної води, що приводить до швидкого замулення прийомного резервуара і, можливо, до загнивання стічної рідини.

Відповідно до розрахунку ємкості прийомного резервуара  $W = 65 \text{ м}^3$ . Глибина робочої частини прийомного резервуара - 2 м. Дну прийомного резервуара надають ухил від зовнішніх стін до прямока  $i = 0,1$ .

Зкаламучення осаду, що випадає в резервуарі, здійснюється за допомогою покладених за периметром ємкості трубопроводів зкаламучення, куди подається вода з напірного трубопроводу. Мінімальний діаметр трубопроводів зкаламучення - 50 мм.

Під час профілактичних ремонтів резервуара або в години мінімальних припливів періодично змиваючи осад з мертвих зон резервуара брандспойтами. Спуск у прийомний резервуар здійснюють через спеціальний люк по ходових скобах.

### **ГРАБЕЛЬНЕ ПРИМІЩЕННЯ**

У грабельному приміщенні розташовують два підвідних канали, в одному з яких установлені механічні граблі марки МГ 1000/1600 - 11 А шириною 1000 мм, в другому - грати з ручним очищенням (ремонтна) і дірчасте корито для сміття з решітки. Для подрібнення сміття установлюється дробарка молоткового типу марки Д - 3 продуктивністю 300 - 600 кг / год, конструкції Мосводоканал НДІ

проекту. Грати з ручним очищенням включається в роботу під час ремонту механічних грат. Другий комплект механічних грат і дробарки зберігається на складі.

На підвідних каналах до механічних грабелів і ручних грат, а також після них передбачена установка затворів . Граблі періодично знімають сміття, затримані ґратами, піднімають їх і скидають на завантажувальний лоток .

Пуск і зупинка механічних грабелів здійснюють автоматично. Подрібнене сміття скидають у прийомний резервуар, а не підлягає дробленню - накопичується в “цебрах”.

## **МАШИННИЙ ЗАЛ СТАНЦІЇ**

У машинному залі розміщені три відцентрових каналізаційних насоси марки СМ 250 - 200 - 400/4 з напірними й всмоктувальними трубопроводами і трубопроводною арматурою: два - робочі; один - резервний. Для технічного водопостачання встановлені насоси марки 2ДО - ба.

Відкачують дренажні води насосом типу ГНОМ 25 - 20. Трубопроводи в межах насосної станції - сталеві зі сталевими звареними фасонними частинами. З'єднання фасонних частин з арматурою і насосами - на фланцях. Всмоктувальні й напірні труби насосів по перекачуванню стічної рідини мають діаметр  $d = 450$  мм .

Насоси СМ 250 - 200 - 400/4 встановлюють під затокою; їх робота автоматизована залежно від рівня стічних вод у прийомному резервуарі. На напірних патрубках насосів встановлюють зворотні клапани .

Засувки на усмоктувальних і напірних водоводах у насосів прийняті з ручним керуванням. Автоматичне включення насосів СМ - 250 -200 - 400/4 здійснюється при відкритих засувках на всіх трубопроводах. Закриваються засувки тільки на час ремонтних робіт. При включенні чи аварійній зупинці одного з робочих насосів, а також при аварійному рівні стічних вод у прийомному резервуарі передбачається автоматичне включення резервного насоса.

## **ПІДЙОМНО – ТРАНСПОРТНЕ УСТАТКУВАННЯ**

Для монтажу і демонтажу устаткування, для виконання ремонтних робіт у машинному відділенні передбачені:

- у підземній частині - кран ручною підвісною однобалковою вантажопідйомністю 5 т;

- у надземній частині - монорейка з талями вантажопідйомністю 5т.

Для монтажу і демонтажу устаткування, а також для ремонтних робіт у підземній частині грабельного приміщення передбачена монорейка з ручними талями вантажопідйомністю 3 т.

## **ВНУТРІШНІЙ ВОДОПРОВІД І КАНАЛІЗАЦІЯ**

Насосна станція обладнана системами господарсько-питного і виробничого водопроводу, каналізації, а також припливно-витяжною вентиляцією, роздільною для прийомного резервуара і машинного залу. Вода подається з міської водогінної мережі по двох вводах діаметрами :  $d_1=d_2=50$  мм.

Система господарсько-питного водопроводу забезпечує подачу води до всіх санітарних приладів; система виробничого водопроводу подає воду для охолодження масляних ванн електродвигунів, змащення вкладишів підшипників насосів, ущільнення й охолодження сальників, змащення підшипників ґрат.

Стоки від санітарних приладів скидаються безпосередньо в канал прийомного резервуара перед ґратами.



## *ЗМ 2.2. Особливості проектування каналізаційних насосних станцій*

Режим роботи каналізаційних насосних станцій визначається режимом добового припливу стічних вод, що залежить від величини коефіцієнта годинної нерівномірності даного каналізованого об'єкта.

У табл. 2.2 виробляється добовий розподіл припливу стічних вод від населення і підприємств міста при заданому  $K_q = 1,80$ .

Т а б л и ц я 2.2 - Сумарна побудова стічних вод від населення міста і підприємств за годинами доби при  $K_{\text{час}} = 1,80$

години	години доби	Добовий приплив		
		%	м <sup>3</sup> /Год.	л / з
1	0-1	1,25	250	69,5
2	1-2	1,25	250	69,5
3	2-3	1,25	250	69,5
4	3-4	1,25	250	69,5
5	4-5	1,25	250	69,5
6	5-6	3,3	660	183,48
7	6-7	5	1000	278
8	7-8	7,2	1440	400,38
9	8-9	7,5	1500	417
10	9-10	7,5	1500	417
11	10-11	7,5	1500	417
12	11-12	6,4	1280	355,78
13	12-13	3,7	740	205,72
14	13-14	3,7	740	205,72
15	14-15	4	800	222,4
16	15-16	5,7	1140	316,92
17	16-17	6,3	1260	350,28
18	17-18	6,3	1260	350,28
19	18-19	6,3	1260	350,28
20	19-20	5,25	1050	291,9
21	20-21	3,4	680	189,04
22	21-22	2,2	440	122,32
23	22-23	1,25	250	69,5
24	23-24	1,25	250	69,5
	<b>Разом</b>	<b>100</b>	<b>20000</b>	<b>5560</b>

Звичайно на практиці для станцій подібного типу продуктивність насосів приймають рівною максимальному годинному припливу стічних вод,  $q_{\text{макс год}}$  [3]:

$$q_{\text{макс год}} = 7,5 \% * Q_{\text{макс доб}} , \text{ що складає } 417 \text{ л/с .}$$

Продуктивність кожного з прийнятих на станції двох робочих насосів дорівнює:  $Q_{\text{нас}} = 7,5/2 = 3,75 \% * Q_{\text{мах доб}}$ , що складає:

$$Q_{\text{нас}} = 20000 * 3,75/100 = 750 \text{ м}^3/\text{год} \text{ чи } 208,5 \text{ л/с.}$$

Приплив стічних вод до насосної станції нерівномірний за годинами доби. Для забезпечення максимально можливого оптимального режиму роботи насосів треба встановити (залежно від їхньої подачі) необхідну регулюючу місткість прийомного резервуара за графіком припливу побутових стічних вод (з урахуванням надходження стічних вод від промислових підприємств) і відкачки стічної рідини.

Графік припливу побутових стічних вод у резервуар за годинами доби приймають залежно від загального коефіцієнта нерівномірності (за завданням  $K_{\text{ч}} = 1,80$ ).

Як уже відзначалося при проектуванні насосних станцій каналізації подачі насосів звичайно приймають рівною максимальному годинному припливу. СНІП [3] передбачає створення мінімальної прийомної ємкості на п'ятихвилинний приплив у години максимального припливу стічних вод.

У години мінімального і середнього припливу подача насосів перевищує приплив рідини і їх доводиться часто виключати і включати, при автоматичному керуванні призначається до п'яти включень за годину.

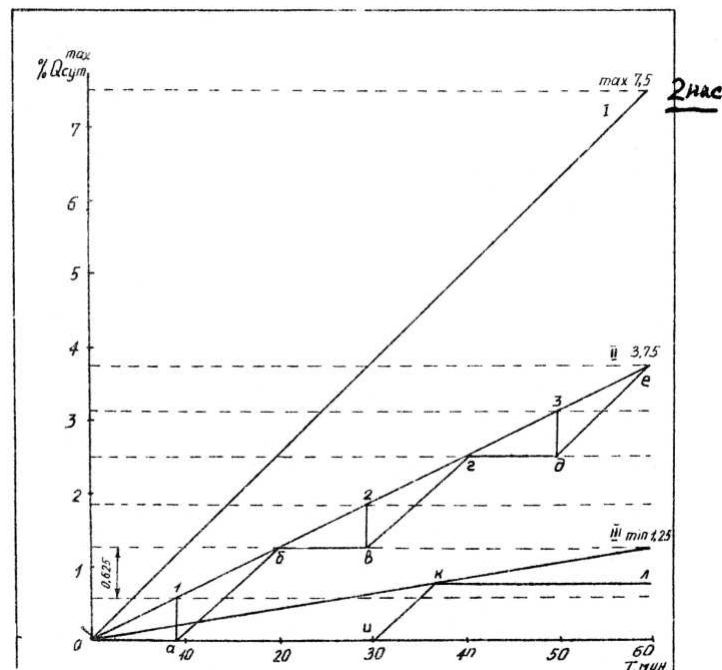
На графіку рис.3 по осі ординат відкладають значення припливу стічної води і подачі насосів у відсотках від добового припливу, а по осі абсцис - час у хвилинах. Подачу насосів приймають рівної максимальному годинному припливу - 7,5 %, тому на графіку лінії припливу і відкачки в час максимального припливу збігаються (лінії 1).

Для побудови графіка подачі насосів у години 50-процентного (лінія 2) і мінімального (лінія 3) припливів визначають мінімально допустиму місткість прийомного резервуара у відсотках від максимального годинного припливу:

$$\text{При } K_{\text{общ}} = 1,80 ; q_{\text{мах год}} = 7,5 \% , \text{ тоді}$$

$$W = 7,5 * 5/60 = 0,625 \% * Q_{\text{мах доб}}$$

Отримане значення  $W$  відкладають по осі ординат і проводять пунктирні лінії, рівнобіжні осі абсцис. Точки перетину пунктирних ліній з лініями припливу відповідають моменту наповнення резервуара і необхідності включення в роботу насосів (це точки **1, 2, 3**). З точки перетину пунктирної лінії з лінією припливу (точка **1**) опускають перпендикуляр на вісь абсцис і з отриманої точки **а** проводять лінію **аб**, рівнобіжну лінії подачі насосів – **1**, до перетину з лінією припливу **2**. Точка перетину ліній припливу і відкачки **б** відповідають моменту спорожнення резервуара і виключення насосів з роботи.



**Рис. 2.6 - Графік погодинного режиму роботи насосної станції.**

- I – лінія максимального припливу;
- II – лінія 50 – процентного припливу;
- III – лінія мінімального припливу;
- 1,2,3 – моменти наповнення резервуара;
- а, б, м, е – моменти спорожнення резервуара;
- а, у, д – моменти включення насосів.

Горизонтальна ділянка **бв** відповідає часу наповнення резервуара й інтервалу часу між включенням і вимиканням насосів. При досягненні різниці ординат лінії **2** і горизонтальної ділянки **бв**, рівної прийнятій місткості резервуара ( $0,625 \% Q_{\max c}$ ) насоси включаються в роботу – лінія **вг**. Далі побудови повторюють за аналогією з викладеним вище.

Подібний графік наповнення і відкачки стоків з резервуара може бути побудований при мінімальному припливі стічної рідини. Ламані лінії **а, б, у, м, д, е** і **и, до, л** є графіками режиму роботи насосів у годинник 50 – процентного і мінімального припливів.

З графіка рис. 2.6 видно, що прийнята місткість резервуара забезпечує частоту включення, яке допускається, насосних агрегатів (до п'яти включень у годину). У табл. 2.2 припливу, рівного 3,75 %, нема, тому ємкість прийомного резервуара визначається за припливами стічних вод, близькими до 3,75 % (3,7 і 4 %).

Продуктивність насосної станції  $Q_{\text{н.с.}} = 1500 \text{ м}^3/\text{год} = 417 \text{ л/с}$ ; ємкість прийомного резервуара  $W = 0,6250\% * Q_{\text{сут}} = 125 \text{ м}^3$ .

## **ПОПЕРЕДНЄ ВИЗНАЧЕННЯ ПОВНОГО НАПОРУ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ**

Для попереднього підбору марок насосів може бути приблизно визначений повний напір станції.

Повний напір насосів

$$H = H_{\Gamma} + h_{\text{н}} + h_{\text{нс}},$$

де  $H_{\Gamma}$  – геометричний напір, м;

$h_{\text{н}}$  – втрати напору в напірному водоводі, м;

$h_{\text{нс}}$  – втрати напору в комунікаціях насосної станції, м.

Попередньо визначають геометричну висоту підйому стічних вод каналізаційними насосами станції  $H_{\Gamma}$ , м:

$$H_{\Gamma} = h_1 + h_2 + h_3,$$

де  $h_1$  – відстань від нижчого рівня стічних вод у прийомному резервуарі до лотка колектора

$$h_1 = z_{\text{до}} - z_{\text{min усв}}; h_1 = 1,5 \text{ м [1]};$$

$h_2$  – глибина залягання підвідного колектора,

$$h_2 = z_{\text{знс}} - z_{\text{до}},$$

$$h_2 = 5 \text{ м};$$

$h_3$  – перевищення оцінки поверхні землі наприкінці напірного водовода в точці злива над оцінкою землі насосної станції,

$$h_3 = z_{\text{изл}} - z_{\text{знс}},$$

$$h_3 = 31,5 \text{ м}.$$

Геометрична висота підйому насосів (геометричний напір).

$$H_{\text{Г}} = 1,5 + 5 + 31,5 = 38 \text{ м}.$$

Втрати напору в напірних водоводах обчислюють після підбору діаметрів напірних ліній. Приймають два напірних водовода поза станцією, що відводять стічну воду від каналізаційної насосної станції до очисних споруд.

При розрахунковій витраті рідини в одній напірній лінії  $q = 208,5 \text{ л/с}$  за допомогою табл. 44 [5] підбирають діаметр  $d_{\text{н}} = 450 \text{ мм}$ . При цьому значенні діаметра шляхом інтерполяції установлюється швидкість руху стічних вод у напірних водоводах:

$$V_{\text{нагн}} = 1,3 + (1,4 - 1,3) * (208,5 - 206) / (222,1 - 206) = 1,32 \text{ м/с}$$

питомі втрати напору

$$i = 0,0049 + (0,0057 - 0,0049) * (208,5 - 206) / (222,1 - 206) = 0,005 \text{ м}.$$

Втрати напору за довжиною на третя в напірному водоводі довжиною

$$l_{\text{н}} = 1000 \text{ м}: h_{\text{тр. нагн}} = i * l_{\text{н}} = 0,005 * 1000 = 5 \text{ м}.$$

Втрати напору на місцеві опори в напірному водоводі орієнтовно приймають рівними 10 % від втрат напору за довжиною:

$$h_{\text{м. нагн}} = 5 * 0,1 = 0,5 \text{ м}.$$

Загальні втрати напору :  $h_{\text{w.н}} = 5 + 0,5 = 5,5 \text{ м}.$

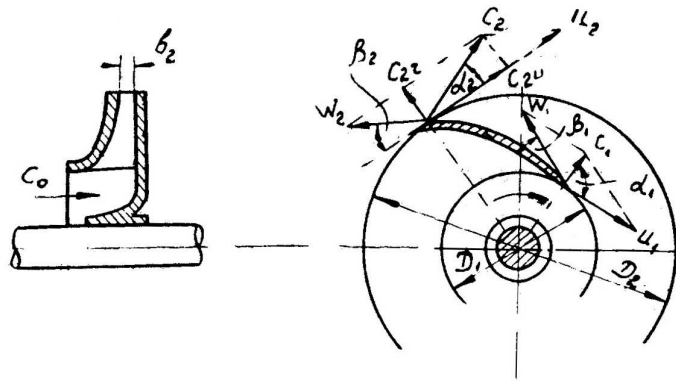
При попередньому підрахунку напору для підбору насосного устаткування станції сумарні втрати напору в комунікаціях усередині насосної станції можна прийняти орієнтовно рівними 3 м. Повний напір, що розвивається насосами,  $H = 38 + 5,5 + 3 = 46,5$  м.

За основними розрахунковими параметрами  
подачі  $Q_{\max H} = 208,5$  л/с ( $750$  м<sup>3</sup>/ч),  
напору  $H = 46,5$  м

за допомогою зведеного графіка полів  $Q - H$  насосів для стічних рідин [2] підбирають необхідну марку насоса: CM 250-200-400/4.

## Приклади для розв'язання задач

**Задача №1.** Визначити напір одноступеневого відцентрового насоса. При наступних вихідних даних: число оборотів робочого колеса  $n=1250$  об/хвил, внутрішній діаметр колеса  $D_1 = 200$  мм, зовнішній діаметр колеса  $D_2 = 400$  мм, кут  $\alpha_2 = 12^\circ$ , кут  $\beta_2=32^\circ$  (рис. 1), гидравлічний к.п.д. насоса  $\eta_r = 0,88$ , швидкість  $C_1 = C_0 = 2,5$  м/сек.



**Рис. 1.**

**Рішення.** Теоретичний тиск відцентрового насоса для робочого колеса з нескінченним числом лопаток визначаємо з рівняння Л. Ейлера:

$$H_{T\infty} = \frac{1}{g} (U_2 C_2 \cos \alpha_2 - U_1 C_1 \cos \alpha_1).$$

У більшості сучасних конструкцій відцентрових насосів рідина входить на робоче колесо в радіальному напрямі; при цьому кут  $\beta_1=90^\circ$

$\cos \beta_1 = 0$ , і рівняння Л. Ейлера приймає наступний вигляд:

$$H_{T\infty} = \frac{1}{g} U_2 C_2 \cos \alpha_2$$

Переносна швидкість на виході з робочого колеса

$$U_2 = \frac{\pi D_2 n}{60} = \frac{3,14 * 0,4 * 1250}{60} = 26,2 \text{ м/сек}$$

На підставі теореми синусів можна записати:

$$\frac{U_2}{C_2} = \frac{\sin [180^\circ - (\alpha_2 + \beta_2)]}{\sin \beta_2} = \frac{\sin (\alpha_2 - \beta_2)}{\sin \beta_2},$$

звідки абсолютна швидкість на виході з робочого колеса

$$C_2 = U_2 \frac{\sin \beta_2}{\sin(\alpha_2 + \beta_2)} = U_2 \frac{\sin 32^\circ}{\sin(12^\circ + 32^\circ)} = 26,2 \frac{0,530}{0,695} = 20,0 \text{ м/сек}$$

Напір

$$H_{T_\infty} = \frac{1}{g} U_2 C_2 \cos 12^\circ = \frac{1}{9,81} 26,2 * 20,0 * 0,978 = 52,3 \text{ м}$$

Теоретичний напір відцентрового насоса для робочого колеса з кінцевим числом лопаток

$$H_T = k H_{T_\infty}.$$

Коефіцієнт  $k$  визначається за формулою акад. Р. Ф. Проськури:

$$k = \frac{1}{1 + \frac{3,6}{z} * \frac{\sin \beta_2}{1 - \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2}}$$

Кількість лопаток  $z$  знаходиться за формулою Пфлейдерера:

$$z = 6,5 \frac{D_2 + D_1}{D_2 - D_1} \sin \frac{\beta_1 + \beta_2}{2}.$$

З рис. 1

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{C_1}{U_1}.$$

Переносна швидкість на вході до робоче колеса

$$U_1 = \frac{\pi D_1 n}{60} = \frac{3,14 * 0,2 * 1250}{60} = 13,1 \text{ м/сек}$$

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{C_1}{U_1} = \frac{2,5}{13,1} = 0,191, \quad \beta_1 = 10^\circ 50',$$

$$\frac{\beta_1 + \beta_2}{2} = \frac{10^\circ 50' + 32^\circ}{2} = 21^\circ 25', \quad \sin 21^\circ 25' = 0,365.$$

Кількість лопаток

$$z = 6,5 \frac{0,4 + 0,2}{0,4 - 0,2} 0,365 = 7$$



Коефіцієнт

$$k = \frac{1}{1 + \frac{3,6}{z} * \frac{\sin \beta_2}{1 - \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2}} = \frac{1}{1 + \frac{3,6}{7} \frac{0,530}{1 - \left(\frac{0,2}{0,4}\right)^2}} = 0,734.$$

Тиск  $H_t = 0,734 * 52,3 = 38,4$  м.

Дійсний тиск відцентрового насоса

$$H_T = \eta_{\Gamma} H_{T\infty} = 0,88 * 38,4 = 33,8 \text{ м}$$

**Завдання №2.** Визначити тиск чотириступінчастого відцентрового насоса  $H$ , якщо число оборотів валу  $n = 1100$  об/мин, внутрішній діаметр робочого колеса  $D_1 = 220$  мм, зовнішній діаметр колеса  $D_2 = 440$  мм, кут

$\beta_2 = 11^\circ$ , кут  $\alpha_2 = 30^\circ$ , гідравлічний к.к.д. насоса  $\eta_{\Gamma} = 0,85$ , число лопаток робочого колеса  $z = 10$ .

**Рішення.** Тиск багатоступінчастого відцентрового насоса

$$H = H_K i,$$

де  $H_K$  - тиск, що створюється одним колесом

$i$  - число робочих коліс (число ступенів).

$$H_K = \eta_{\Gamma} H_T = \eta_{\Gamma} k H_{T\infty} = \eta_{\Gamma} k \frac{1}{g} U_2 C_2 \cos \alpha_2;$$

$$H = \eta_{\Gamma} k \frac{1}{g} U_2 C_2 \cos \alpha_2; \quad \cos \alpha_2 = \cos 11^\circ = 0,982.$$

Переносна швидкість на виході з робочого колеса

$$U_2 = \frac{\pi D_2 n}{60} = \frac{3,14 * 0,44 * 1100}{60} = 25,3 \text{ м/сек.}$$

Абсолютна швидкість на виході з робочого колеса (див. завдання №1)

$$C_2 = U_2 \frac{\sin \beta_2}{\sin(\alpha_2 + \beta_2)} = U_2 \frac{\sin 30^\circ}{\sin(11^\circ + 30^\circ)} = 26,2 \frac{0,5}{0,656} = 19,3 \text{ м/сек.}$$

Коефіцієнт

$$k = \frac{1}{1 + \frac{3,6}{z} * \frac{\sin \beta_2}{1 - \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2}} = \frac{1}{1 + \frac{3,6}{10} \frac{0,5}{1 - \left(\frac{0,22}{0,44}\right)^2}} = 0,807.$$

$$\text{Тиск } H = 4 * 0,85 * 0,807 * \frac{1}{9,81} 25,3 * 19,3 * 0,982 = 134 \text{ м}$$

**Завдання №3.** Одноступінчатий відцентровий насос при числі оборотів  $n=1050$  об/хвил розвиває тиск  $H=45$  м. Продуктивність насоса  $Q=106$  л/сек. Повний к. к. д. насоса  $\eta = 0,76$ . Насос перекачує нафту з питомою вагою  $\gamma = 945$  кг/м<sup>3</sup>.

Визначити споживану насосом потужність  $N$ . Встановити, як зміняться продуктивність, тиск і споживана насосом потужність, якщо робоче колесо обертатиметься з числом оборотів  $n' = 1200$  об/хвил.

**Рішення.** Споживана насосом потужність

$$N = \frac{\gamma Q H}{102 \eta} = \frac{945 * 0,106 * 45}{102 * 0,76} = 58,1 \text{ квт.}$$

Для визначення продуктивності  $Q'$ , натиску  $H'$  і споживаній потужності  $N'$ , відповідних новому числу оборотів  $n'$ , скористаємося законами пропорційності:

$$\frac{Q'}{Q} = \frac{n'}{n}; \quad \frac{H'}{H} = \left(\frac{n'}{n}\right)^2; \quad \frac{N'}{N} = \left(\frac{n'}{n}\right)^3$$
$$\frac{n'}{n} = \frac{1200}{1050} = 1,14; \quad \left(\frac{n'}{n}\right)^2 = 1,30; \quad \left(\frac{n'}{n}\right)^3 = 1,49.$$

Продуктивність

$$Q' = Q \frac{n'}{n} = 106 * 1,14 = 121 \text{ л/сек.}$$

Тиск

$$H' = H \left(\frac{n'}{n}\right)^2 = 45 * 1,30 = 58,5 \text{ м}$$

Споживана насосом потужність

$$N' = N \left(\frac{n'}{n}\right)^3 = 58,1 * 1,49 = 86,6 \text{ квт}$$

**Завдання № 4.** При числі оборотів валу  $n = 1450$  об/хвил відцентровий насос має продуктивність  $Q = 120$  м<sup>3</sup>/год. Визначити можливе збільшення висоти всмоктування насоса при зменшенні числа оборотів валу до  $n'=950$  об/хвил. Діаметр всмоктуючої лінії  $d=125$  мм, сумарний коефіцієнт опору  $\sum \xi = 12$ . Температура води  $t=40^\circ\text{C}$ .

**Рішення.** При числі оборотів  $n=1450$  об/мин продуктивність насоса за 1 секунду

$$Q = \frac{120}{3600} = 0.0334 \text{ м}^3 / \text{сек}$$

Середня швидкість води у всмоктуючому трубопроводі:

$$V = \frac{Q}{\omega} = \frac{0.0334 * 4}{3.14 * 0.125^2} = 2.71 \text{ м} / \text{сек}.$$

Втрати тиску у всмоктуючому трубопроводі

$$h_w = \sum \xi \frac{V^2}{2g} = 12 \frac{2.71^2}{2 * 9.81} = 4.51 \text{ м. вод. ст.}$$

Тиск пароутворення при

$$t = 40^\circ \text{C} \quad \frac{p_t}{\gamma} = 0.75 \text{ м. вод. ст.}$$

(див. додаток ).

Гранична висота всмоктування

$$h = 10 - 0.75 - 4.51 - \frac{2.71^2}{2 * 9.81} = 4.36 \text{ м}$$

Користуючись законами пропорційності, визначимо продуктивність  $Q'$  при числі оборотів  $n'=950$  об/хвил:

$$Q' = Q \frac{n'}{n} = 0.0334 * \frac{950}{1450} = 0.0219 \text{ м}^3 / \text{сек}$$

Середня швидкість води у всмоктуючому трубопроводі

$$V = \frac{0.0219 * 4}{3.14 * 0.125^2} = 1.77 \text{ м} / \text{сек}$$

Втрати напору у всмоктуючому трубопроводі

$$h_w = \sum \xi \frac{V^2}{2g} = 12 \frac{1.77^2}{2 * 9.81} = 1,94 \text{ м. вод. ст.}$$

Гранична висота всмоктування

$$h = 10 - 0.75 - 1,94 - \frac{1.77^2}{2 * 9.81} = 7,15 \text{ м,}$$

тобто гранична висота всмоктування збільшується на

$$\Delta h = 7.15 - 4.36 = 2.79 \text{ м}$$

Якщо врахувати також запас висоти, що забезпечує відсутність кавітації, то в першому випадку він буде рівний:

$$\sigma H_1 = 0.001218 n^3 \sqrt[n]{Q^2} = 0.001218 * 1450 * \sqrt[3]{1450 * \sqrt[3]{0.0334^2}} = 2.07 \text{ м. вод. ст.,}$$

а в другому:

$$\sigma H_2 = 0.001218 n^3 \sqrt[n]{Q^2} = 0.001218 * 950 * \sqrt[3]{950 * \sqrt[3]{0.0219^2}} = 0,89 \text{ м. вод. ст.,}$$

що дозволить збільшити граничну висоту всмоктування насоса додатково на  $\Delta(\sigma H) = 2,07 - 0,89 = 1,18 \text{ м.}$

Таким чином, можливе збільшення граничної висоти всмоктування складе:  $\Delta h = 2,79 + 1,18 = 3,97 \text{ м вод. ст.}$

**Задача №5.** Насос с заданою при числі обертів  $n=1600$  об/хвил характеристикою (рис. 2) перекачує воду з резервуара з позначкою  $\nabla 5$  м в резервуар с отметкой  $\nabla 16$  м (рис 3) по трубопроводам  $l_1=10$  м,  $d_1 = 100$  мм ( $\sum \xi = 2, \lambda_1 = 0.025$ ) и  $l_2=30$  м,  $d_2 = 75$  мм ( $\sum \xi = 12, \lambda_1 = 0.027$ ). Визначити подачу насосу  $Q_H$  напір  $H_H$  і споживана ним потужність  $N_H$ . Найти число обертів насосу  $n_x$  необхідне для підвищення його подачі на 50%.

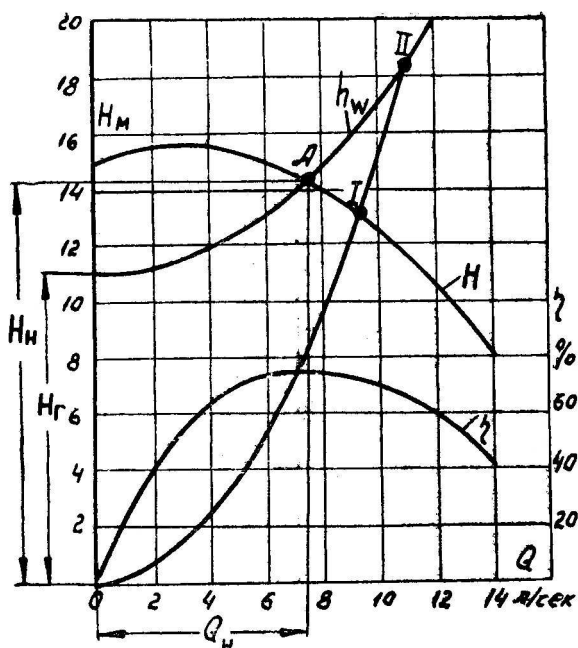


Рис. 2

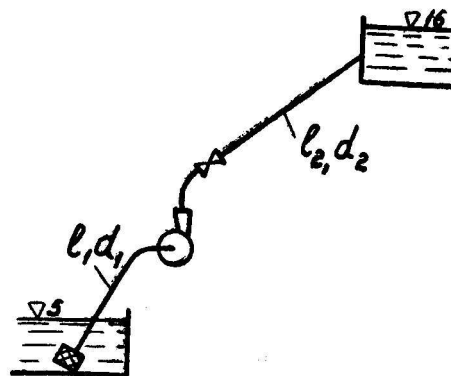


Рис. 3

**Рішення.** Знаходимо рівняння характеристики трубопроводу

$$h_w = h_{w1} + h_{w2} = \left[ \left( \frac{\lambda_1 l_1}{d_1} + \sum \xi_1 \right) \frac{1}{\omega_1^4} + \left( \frac{\lambda_2 l_2}{d_2} + \sum \xi_2 \right) \frac{1}{\omega_2^4} \right] * \frac{Q^2}{2g} =$$

$$h_w = f(Q); \quad \left[ \left( \frac{0,025 * 10}{0,1} + 2 \right) \frac{1}{0,1^4} + \left[ \left( \frac{0,027 * 30}{0,075} + 12 \right) \frac{1}{0,075^4} \right] \right] 0,0827 Q^2 = 63200 Q^2$$

По отриманому рівнянню будемо характеристику трубопроводу, тобто криву  $h_w = f(Q)$ , задаючись різними значеннями  $Q$ . Побудову кривої починаємо з точки, зміщеної уздовж осі  $H$  на величину геометричного тиску  $H_g$  (рис. 4) Точка перетину  $A$  характеристики насоса з характеристикою трубопроводу визначає режим роботи насоса:

$$Q_H = 7,3 \text{ л/сек}, \quad H_H = 14,3 \text{ м}, \quad \eta = 75 \% -$$

Споживана насосом потужність

$$N = \frac{\gamma Q H}{102 \eta} = \frac{7,3 * 14,3}{102 * 0,75} = 1,37 \text{ квт.}$$

На характеристиці трубопроводу знаходимо нову робочу точку  $\Pi$ , відповідну збільшеною на 50% продуктивності насоса, тобто

$$Q_2 = 1,5 Q_H = 1,5 * 7,3 = 10,95 \text{ л/сек.}$$

При цьому тиск насоса рівний  $H_2 = 18,4 \text{ м}$ .

Через робочу крапку II повинна пройти характеристика насоса при шуканому числі оборотів  $n_x$ . Для того, щоб визначити це число оборотів, проведемо заздалегідь через крапку II параболу подібних режимів, що має вершину на початку координат, т. е. криву

$$\frac{H_2}{Q_2^2} = \frac{18,4}{10,95^2} = 0,153 = const$$

Для точки перетину I цієї кривої з початково заданою характеристикою насоса знаходимо:  $Q_1 = 9,4$  л/сек,  $H_1 = 13$  м

Застосовуючи до точок I і II подібних режимів закони пропорційності, отримаємо:

$$n_x = n_1 \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{1600 * 10,95}{9,4} = 1865 \text{ об / мин},$$

$$n_x = n_1 \sqrt{\frac{H_2}{H_1}} = 1600 \sqrt{\frac{18,4}{13}} = 1900 \text{ об / мин}$$

За шукане число оборотів приймаємо середнє арифметичне з двох набутих значень, тобто

$$n_x = \frac{n_x' + n_x''}{2} = \frac{1860 + 1900}{2} = 1880 \text{ об / мин}$$

**Завдання №6.** Відцентровий насос з відомою характеристикою (рис. 3) відкачує воду з збірного колодязя в басейн з постійним рівнем  $H = 12$  м (рис. 4) по трубопроводах  $l_1 = 8$  м,  $d_1 = 100$  мм і  $l_2 = 16$  м,  $d_2 = 75$  мм.

При роботі насосу з постійним числом обертів  $n = 1450$  об/хвил

а) глибину  $h$ , на якій встановиться рівень води у колодязі, якщо приток до нього  $Q = 8$  л/сек

б) найменше число оборотів насоса, яке забезпечить відсутність переповнювання колодязя при заданій притоці.

При розрахунках прийняти коефіцієнти гідравлічного тертя  $\lambda_1 = 0,03$  і  $\lambda_2 = 0,035$  і сумарні коефіцієнти місцевих опорів  $\Sigma \xi_1 = 6$  і  $\Sigma \xi_2 = 10$ .

**Рішення.** Глибину води в колодязі  $h$  знаходимо з виразу:

$$H_n = H + h + h_w \text{ звідки} \quad h = H_n - H - h_w,$$

де  $H_n$  - тиск насоса, який визначається за характеристикою насоса (рис. б);

при  $Q = 8 \text{ л/сек}$ ,  $H_n = 21,5 \text{ м}$ ;  $H = 12 \text{ м}$  (за завданням);

$h_w$  - втрати натиску в трубопроводах:

$$h_w = h_{w1} + h_{w2} = \left[ \left( \frac{\lambda_1 l_1}{d_1} + \sum \xi_1 \right) \frac{1}{\omega_1^4} + \left( \frac{\lambda_2 l_2}{d_2} + \sum \xi_2 \right) \frac{1}{\omega_2^4} \right] * \frac{Q^2}{2g} =$$

$$\left[ \left( \frac{0,03 * 8}{0,1} + 6 \right) \frac{1}{0,1^4} + \left[ \left( \frac{0,035 * 16}{0,075} + 10 \right) \frac{1}{0,075^4} \right] \right] 0,0827 Q^2 = 52300 Q^2 = 52300 \frac{8^2}{10^6} = 3,35 \text{ м}$$

Таким чином, глибина

$$h = 21,5 - 12 - 3,35 = 6,15 \text{ м.}$$

У разі повного заповнення колодязя при  $Q = 8 \text{ л/сек}$  геометрична висота підйому рідини  $H_r = H = 12 \text{ м}$ , а натиск насоса має бути рівний

$$H_n = H_2 = H_r + h_w = 12 + 3,35 = 15,35 \text{ м.}$$

Ця крапка з координатами  $Q_2 = 8 \text{ л/сек}$  і  $H_2 = 15,35 \text{ м}$  є робочою точкою II (рис. б), через яку повинна проходити нова характеристика насоса при шуканому числі оборотів  $n_2$ .

Для визначення цього числа обертів будуємо параболу подібних режимів по рівнянню

$$\frac{H_2}{Q_2^2} = \frac{15,35}{8^2} = 0,24 = \text{const.}$$

Точка I перетину параболи подібних режимів із заданою характеристикою насоса при  $n_1 = 1450 \text{ об/мин}$  дає  $Q_1 = 9,2 \text{ л/сек}$  і  $H_1 = 20,6 \text{ м}$ .

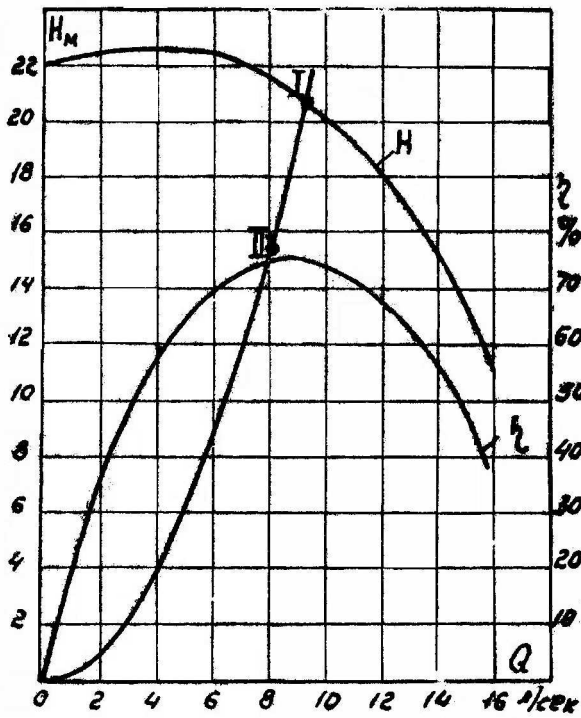


Рис. 3.

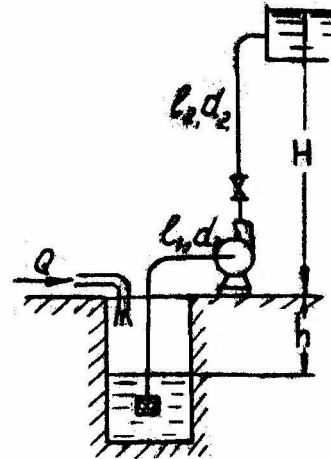


Рис. 4.

Застосовуючи до точок I і II закони пропорційності, отримаємо шукане число обертів насоса;

$$n_x = n_1 \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{1450 * 8}{9,2} = 1260 \text{ об / мин},$$

$$n_x'' = n_1 \sqrt{\frac{H_2}{H_1}} = 1450 \sqrt{\frac{15,35}{20,6}} = 1250 \text{ об / мин}$$

За шукане число оборотів приймаємо середнє арифметичне з двох набутих значень:

$$n_x = \frac{n_x' + n_x''}{2} = \frac{1260 + 1250}{2} = 1255 \text{ об / хвил}$$



**Завдання №7.** Відцентровий насос із заданою при числі оборотів  $n = 900$  об/хвил характеристикою (рис. 5) забирає воду з басейну з постійним рівнем  $\nabla 0$  через проміжний колодезь подає її у водонапірну башту з відміткою рівня  $\nabla 20_m$  (рис. 6).

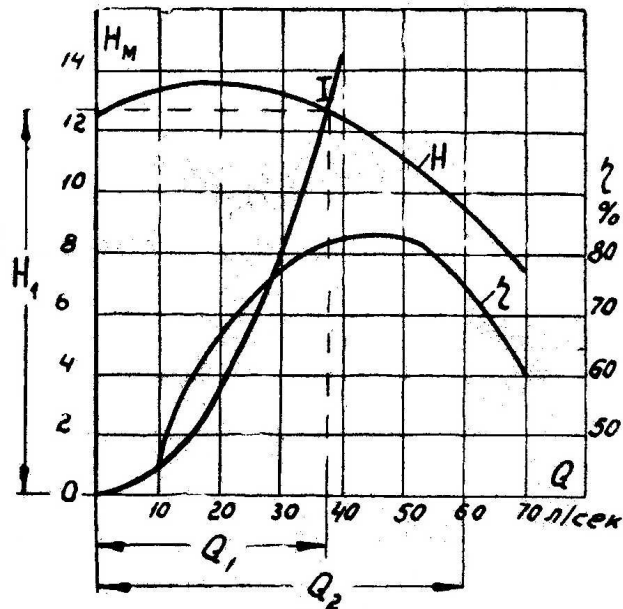


Рис. 5.

Визначити число обертів і потужність, споживану насосом, якщо його подача в башту  $Q = 60$  л/сек, розрахункові довжини труб (що включають всі місцеві опори при  $\lambda = 0,03$ ):  $l_0 = 10$  м;  $l_1 = 10$  м;  $l_2 = 100$  м; діаметри:  $d_0 = 0,2$  м;  $d_1 = 0,2$  м,  $d_2 = 0,15$  м.

При визначеному числі обертів визначити найбільшу висоту  $z$  розташування осі насоса за умови, що вакуум на вході в нього повинен перевершувати 6 м.вод. ст.

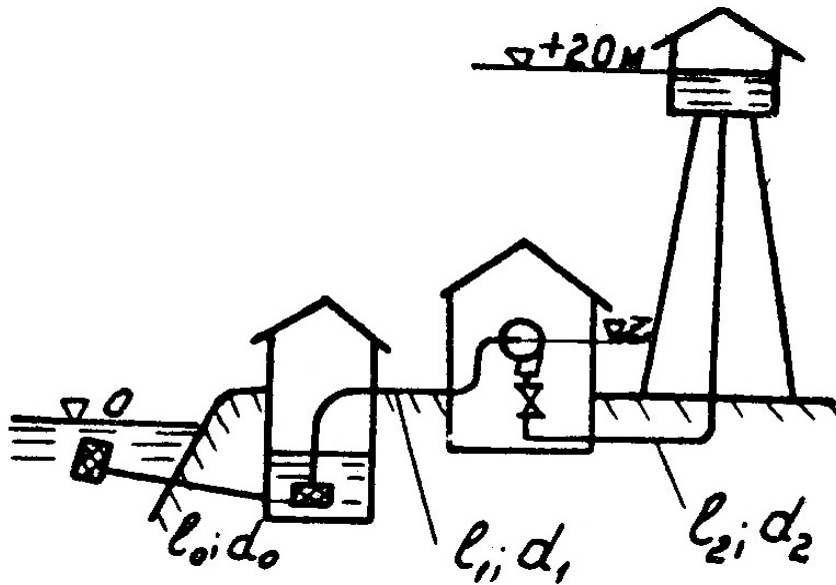


Рис. 6.

**Рішення:** Потужність яку використовує насос, визначаємо за формулою:

$$N = \frac{\gamma Q H}{102 \eta}$$

Де  $Q=60$ л/сек. (за завданням)

$\eta=0,75$  (див. рис. 5)

$$H=H_r+h_w.$$

Геометрична висота підйому рідини  $H_r$  дорівнює різниці позначок рівней води у водонапірній башті і проміжному колодязі.

Позначка рівня води у проміжному колодязі визначається за рівнянням Д. Бернуллі, записаного для перерізів, які збігаються з рівнем води у басейні і проміжному колодязі. Перевищення рівня води у басейні над рівнем води у проміжному колодязі дорівнює втратам напору у трубі що з'єднує:

$$h_{wo} = \lambda \frac{l_o 0,0827 * Q^2}{d_o^5} = \frac{10 * 0,0827 * 60^2 * 0,03}{0,2^5 * 10^6} = 0,28 \text{ м}$$

Таким чином,

$$H_r=20+0,28=20,28 \text{ м}$$

Сума втрат напору у всмоктуючому і напірному трубопроводі буде рівна:

$$h_w = \left[ \left( \frac{\lambda_1 l_1}{d_1^5} \right) + \left( \frac{\lambda_2 l_2}{d_2^5} \right) \right] * 0.0827 Q^2 = \left[ \left( \frac{0,03 * 10}{0,2^5} \right) + \left[ \left( \frac{0,03 * 100}{0,15^5} \right) \right] \right] 0,0827 Q^2 =$$

$$= 3350 Q^2 = 3350 * 60^2 = 12.1 \text{ м}$$

Звідки, напір насосу

$$H = H_r + h_w = 20.28 + 12.1 = 32,38 \text{ м}$$

Потужність насосу

$$N = \frac{\gamma Q H}{102 \eta} = \frac{60 * 32.38}{102 * 0.75} = 25.4 \text{ квт}$$

Для розрахунків числа обертів насоса будемо параболу подібних режимів за рівнянням

$$\frac{H_2}{Q_2^2} = \frac{32.38}{60^2} = 0.009 = \text{const}$$

Для точки перетину 1 параболы з заданою характеристикою насоса при числі обертів  $n_1 = 900$  об/хвил отримаємо:  $Q_1 = 37.5$  л/сек і  $H = 12,65$  м

**Завдання №8.** З резервуару А (рис. 7) необхідно подавати за допомогою відцентрового насоса в резервуари В і С, рівні в яких розташовані на висотах  $h_B = 20$  м і  $h_C = 25$  м однакові витрати води  $Q = 4$  л/сек. Трубопровід АК (до вузлової точки К) має розрахункову довжину  $l_1 = 100$  м діаметр  $d_1 = 75$  мм, труби (КС і КВ однакові:  $l_2 = l_3 = 50$  м і  $d_2 = d_3 = 50$  мм). Коефіцієнт гідравлічного тертя для всіх труб  $\lambda = 0,025$ .

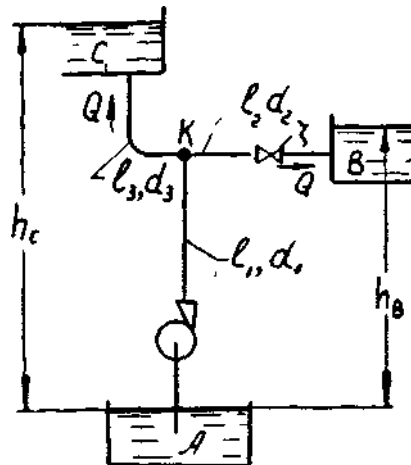


Рис. 7.

**Визначити:** 1) який додатковий опір необхідно ввести в трубу KB (шляхом прикриття засувки), щоб забезпечити необхідну рівність витрат?

2) яка буде при цьому потужність насоса?

**Рішення.** Рівність витрат в трубах *KC* і *KB* матиме місце при рівності їх напорів. Оскільки резервуар *C* розташовується на 5 м вище за резервуар *B*, то рівність напорів труб спостерігатиметься у разі, коли втрати в засувці, встановленій на трубі *KC*, будуть рівні

$$h_3 = 5,0 = \xi_3 \frac{Q^2}{\omega^2 2g},$$

звідки

$$\xi_3 = \frac{h_3 \omega^2 2g}{Q^2} = \frac{5 d_2^4 10^6}{0,0827 * 4^2} = \frac{5 * 0,05^4 * 10^6}{0,0827 * 4^2} = 23,8$$

При цьому корисна потужність насоса визначиться за формулою

$$N = \frac{\gamma Q H}{102} = \frac{\gamma Q (h_c + h_w)}{102} = \frac{\gamma Q (h_c + h'_w)}{102},$$

де  $h_w$  - втрати напору в трубопроводах

$$h_w = h_{w1} + h_{w2} \quad \text{або} \quad h'_w = h_{w1} + h_{w3}$$

$$h'_w = h_{w1} + h_{w3} = 0,0827 \left( \frac{\lambda_1 l_1}{d_1^5} Q_1^2 + \frac{\lambda_3 l_3}{d_3^5} Q_3^2 \right) =$$

$$0,0827 \left( \frac{0,025 * 100 * 8^2}{0,075^5 * 10^6} + \frac{0,025 * 50 * 4^2}{0,05^5} \right) = 10,85 \text{ м}$$

$$N = \frac{\gamma Q (h_c + h'_w)}{102} = \frac{8 * 10685}{102} = 0,85 \text{ квт}$$

**Завдання №9.** Відцентровий насос (рис. 8) із заданою характеристикою (рис. 9) подає воду з бака *A* по трубі  $l = 50 \text{ м}$  і  $D = 70 \text{ мм}$  до точки розгалуження трубопроводів *K*, звідки вода по трубах однакової довжини  $l_1 = 20 \text{ м}$  и однакового діаметра  $d = 50 \text{ мм}$  надходить в баки *B* и *B*. На трубі, яка йде в нижній бак (бак *B*), є задвижка з коефіцієнтом опору  $\xi = 30$ . Рівні у всіх баках

постійні, причому рівень в баке *Б* вище рівня в баке *А* на  $h_1=16$  м, а у баке *В* нижче того жє уровня на  $h_2=10$  м.

**Визначити** подачу води у баки и потужність насоса при числі обертів  $n=900$  об/хвил. При рішенні задачі враховувати опір засувки і втрати напору по довжині. Коефіцієнт гідравлічного тертя для всіх труб  $\lambda=0,025$ .

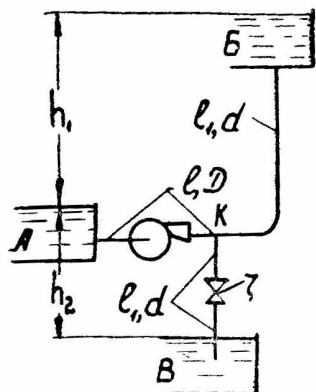


Рис. 8.

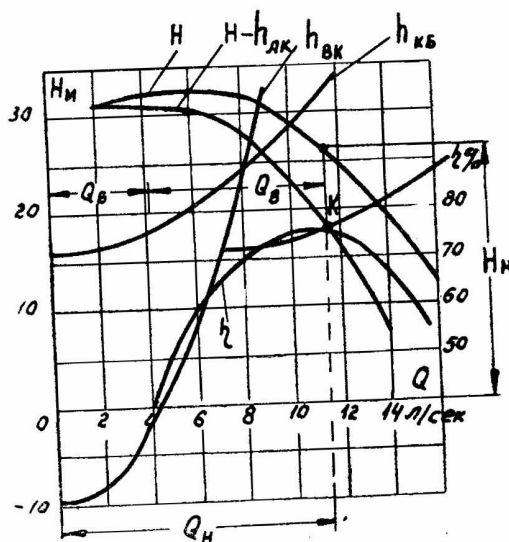


Рис. 9.

**Рішення.** Віднімаючи з напір насоса  $H$  втрати напору в його трубопроводі до вузловій точки  $K$ , будуємо криву  $H-h_{AK}$  (рис. 9), яка є залежністю п'єзометричного напору  $H_K$  у вузловій точці від продуктивності насоса  $Q$ . Точка  $K$  перетину цієї кривої з сумарною характеристикою системи трубопроводів визначає рівень  $H_K$  і, отже, режим роботи насоса і розподіл витрат по трубопроводах  $BK$  і  $KB$ :

$$h_{AK} = \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{Q^2}{\omega^2 2g} = \frac{\lambda 0,0827 Q^2}{D^5} = \frac{0,025 \cdot 50 \cdot 0,0827 Q^2}{0,07^5} = 61200 Q^2,$$

$$h_{BK} = \left( \frac{\lambda_1}{d} + \xi \right) \cdot \frac{0,0827 Q^2}{d^4} = \left( \frac{0,025 \cdot 20}{0,05} + 30 \right) \frac{0,0827 Q^2}{0,05^4} = 530000 Q^2$$

$$h_{KB} = \frac{\lambda_1 0,0827 Q^2}{d^5} = \frac{0,025 \cdot 20 \cdot 0,0827 Q^2}{0,05^5} = 132500 Q^2.$$

Згідно рис. 9 маємо:

$$Q_B = 4,1 \text{ л/сек}, Q_{\text{в}} = 7,3 \text{ л/сек}, Q_H = 11,4 \text{ л/сек.},$$

$$H_H = 26,5 \text{ м}, \eta = 75\%.$$

$$N = \frac{\gamma Q_H H_H}{102 \eta} = \frac{11,4 \cdot 26,5}{102 \cdot 0,75} = 3,95 \text{ квт}$$

**Завдання №10.** Відцентровий насос, що подає воду з бака *A* в бак *B* на висоту  $H_r = 30$  м (рис 10), забезпечений обвідною трубою, по якій частина його подачі повертається на сторону всмоктування. Діаметр всмоктуючої і нагнітальної труб  $d=100$  мм, їх загальна розрахункова довжина  $L = l_1+l_2 = 250$  м, коефіцієнт гідравлічного тертя  $\lambda=0,025$ . Діаметр обвідної труби  $d_o=50$  мм, її сумарний коефіцієнт опору  $\xi=25$ .

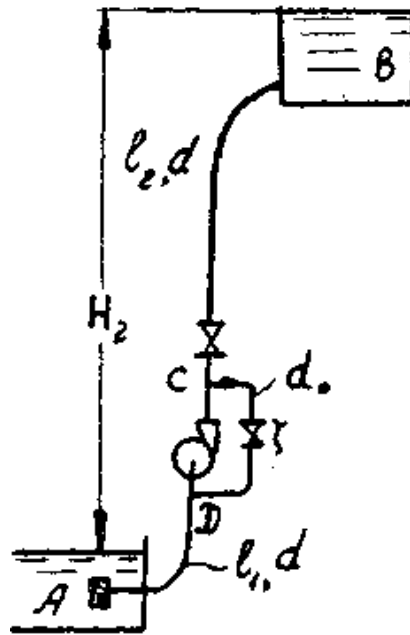


Рис. 10.

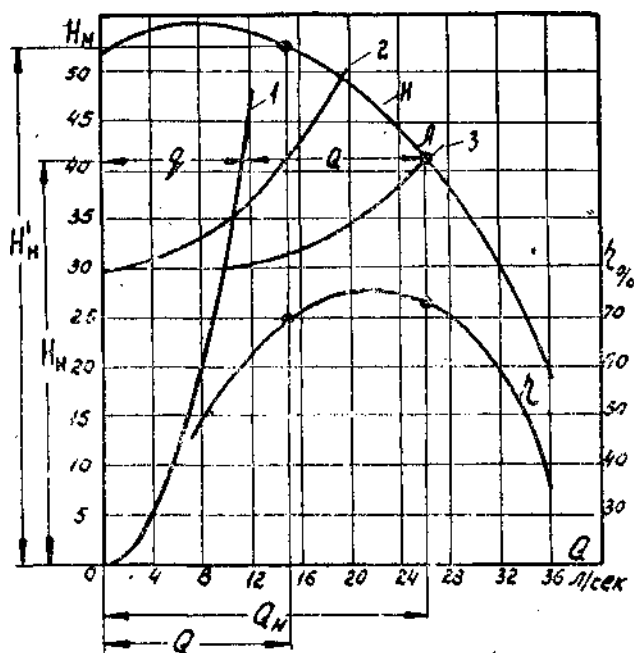


Рис. 11

Користуючись заданою характеристикою насоса (рис. 11), визначити подачу у верхній бак, напір насоса і споживану ним потужність. Яка буде споживана насосом потужність, якщо таку ж подачу у верхній бак здійснювати при вимкненій обвідній трубі шляхом прикриття засувки на лінії нагнітання?

**Рішення.** Напір насоса  $H_H$  і подача у верхній бак  $Q_H$  визначаються точкою перетину  $A$  характеристики насоса (крива  $H$ ) і сумарної характеристики труб (крива  $3$ ), отриманої шляхом складання абсцис, характеристик труб  $АДСВ$  (крива 2) і  $СД$  (крива 1).

Рівняння характеристики труби  $АДСВ$ :

$$h_w = h_{w1} + h_{w2} = \frac{\lambda L}{d^5} * 0,0827Q^2 = \frac{0,025 * 250}{0,1^5} * 0,0827Q^2 = 51600Q^2$$

Рівняння характеристики обвідної труби  $СД$ :

$$h_{w0} = \frac{\xi 0,0827Q^2}{d_0^4} = \frac{25 * 0,0827 * Q^2}{0,05^4} = 331000Q^2.$$

З мал. 11 знаходимо:

$$\eta = 73\%; Q_H = 26 \text{ л/сек}, H_H = 41 \text{ м}$$

$$N = \frac{\gamma Q_H H_H}{102\eta} = \frac{26 * 41}{102 * 0,73} = 14,3 \text{ квт}$$

При цьому подача у верхній бак буде рівна

$$Q = Q_H - q = 26 - 11 = 15 \text{ л/сек}$$

де  $q$  - витрата в обвідній трубі.

При вимкненій обвідній трубі і при  $Q_H = 15$  л/сек, натиск напір насоса

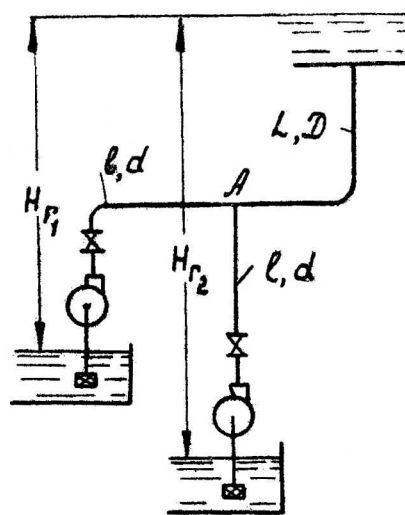
$$H'_H = 52,5 \text{ м}, \eta = 0,695.$$

Споживана потужність насоса

$$N = \frac{\gamma Q_H H'_H}{102\eta} = \frac{15 * 52,5}{102 * 0,695} = 11,1 \text{ квт}$$

**Задача №11.** Два однакових відцентрових насоса (рис. 12) с заданими характеристиками працюють паралельно на магістральній трубопроводі довжиною  $L = 1000$  м, діаметром  $D = 450$  мм при різних значеннях геометричного напору:  $H_{г1} = 20$  м і  $H_{г2} = 30$  м. Трубопроводи, сходяться у вузлі А, мають однакову довжину  $l=100$  м і однакові діаметри  $d = 300$  мм. Визначити продуктивність, напір і споживану потужність кожного насоса при числі обертів  $n=960$  об/мин. У трубопроводах насосів враховують втрати на тертя ( $\lambda=0,03$ ) і місцеві втрати (сумарний коефіцієнт опору  $\xi = 6$ ). У магістралі враховують тільки втрати на тертя ( $\lambda=0,025$ ).

**Рішення.** Віднімаючи з напорів кожного насоса втрати в його трубопроводі до вузлової точки А і складаючи отримані криві 1 і 2 (рис. 12) за витратами, будемо криву 3, яка представляє залежність п'єзометричного рівня  $H_A$  у вузловій точці від сумарної подачі обох насосів. Крапка К перетини цієї кривої з характеристикою магістрального трубопроводу (крива 4) визначає рівень  $H_A$  і, отже, режим роботи насосів:  $Q_1, H_1$  і  $Q_2, H_2$ .



**Рис. 12.**

Втрати напору в трубопроводах насосів

$$h_w = \left( \frac{\lambda l}{d} + \xi \right) \cdot \frac{0,0827 Q^2}{d^4} = \left( \frac{0,03 \cdot 100}{0,3} + 6 \right) \cdot \frac{0,0827 Q_2}{d^4} = 163,5 Q^2.$$

Характеристика магістрального трубопроводу

$$h_w = \frac{\lambda L \cdot 0,0827 Q^2}{D^5} = \frac{0,025 \cdot 1000 \cdot 0,0827 Q^2}{0,45^5} = 112 Q^2$$



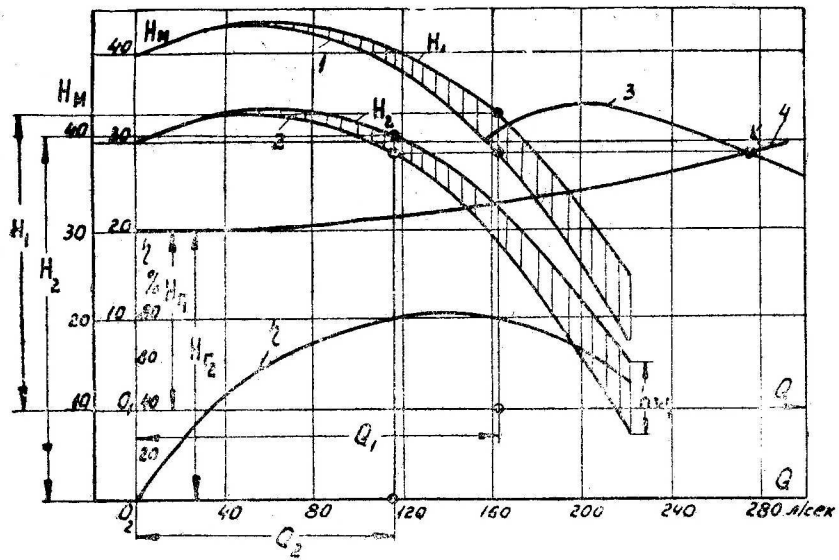


Рис. 13.

З рис. 13 находимо:

$$Q_1=162 \text{ л/сек}; H_1=33\text{м}; \eta_1=80\%$$

$$Q_2=116 \text{ л/сек}; H_2=40,5\text{м}; \eta_2=80\%$$

Споживані потужності насосів:

$$N = \frac{\rho Q_1 H_1}{102 \eta} = \frac{162 * 32}{102 * 0,8} = 65,5 \text{ кВт},$$

$$N = \frac{\rho Q_2 H_2}{102 \eta} = \frac{116 * 40,5}{102 * 0,8} = 57,5 \text{ кВт}$$

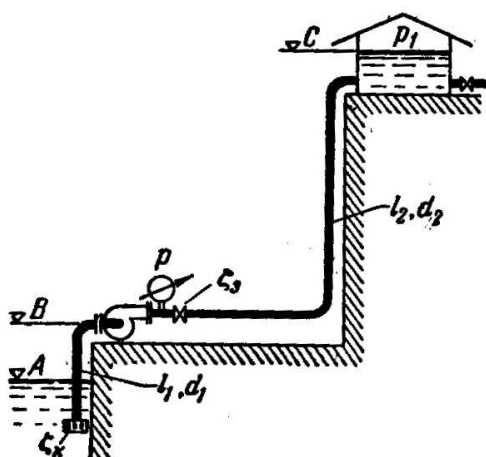
## Задачі для розв'язання

**Завдання №1.** Відцентровий насос, розташований на рівні з відміткою  $\nabla B = 4 \text{ м}$ , перекачує воду з резервуару з рівнем  $\nabla A = 2 \text{ м}$  в резервуар з рівнем  $\nabla C = 14 \text{ м}$  і внутрішнім тиском  $p = 1,2 \text{ ати}$ .

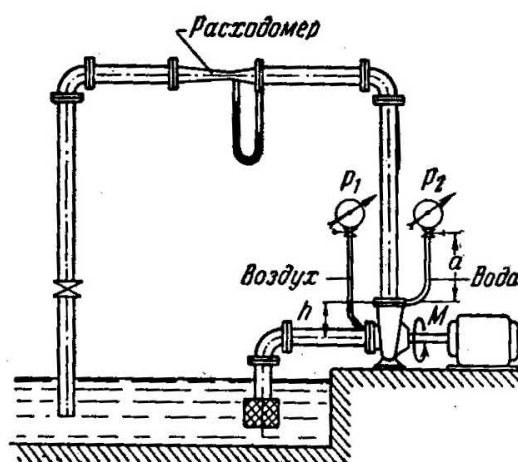
Визначити подачу, напір і потужність насоса, якщо манометр, встановлений за насосом, показує  $p = 2,5 \text{ ати}$ , а трубопроводи мають довжини  $l_1 = 6 \text{ м}$  і  $l_2 = 60 \text{ м}$  і діаметри  $d_1 = 100 \text{ мм}$  і  $d_2 = 80 \text{ мм}$ .

При розрахунках прийняти коефіцієнти опору тертя трубопроводів рівними  $\lambda_1 = 0,025$  і  $\lambda_2 = 0,028$ , коефіцієнти опорів всмоктуючої коробки  $\xi_{\text{к}} = 7$  і частково закритої засувки  $\xi_3 = 8$ . Побудувати п'єзометричну лінію для системи.

**Відповідь:**  $Q_{\text{н}} = 7,17 \text{ л/сек}$ ;  $H_{\text{н}} = 27,46 \text{ м}$ ;  $N_{\text{н}} = 2,62 \text{ л.с.}$



До задачі №1.



До задачі №2

**Завдання №2.** При випробуванні відцентрового насоса зі всмоктуючим патрубком діаметром  $d_1 = 80 \text{ мм}$  і нагнітальним патрубком  $d_2 = 60 \text{ мм}$  зміряні наступні величини:

Надмірний тиск на виході з насоса

$$p_2 = 1,28 \text{ ати}$$

Вакуум на вході в насос

$$p_1 = 0,3 \text{ атв}$$

Вертикальна відстань між вхідним і вихідним перетинами насоса

$$h = 0,8 \text{ см}$$

Перевищення манометра над вихідним перетином

насоса

$$a = 12 \text{ см}$$

Продуктивність насоса

$$Q_n = 10 \text{ л/сек}$$

Момент, що обертає, на валу насоса

$$M = 1 \text{ кГм}$$

Число оборотів насоса

$$n = 2000 \text{ об/хвил}$$

Визначити напір насоса, потужність двигуна і к. к. д. насоса.

**Відповідь.**  $H_n = 16,44 \text{ м}$ ;  $N_{дв} = 209 \text{ кГм/сек}$ ;  $\eta = 78,7\%$ .

**Завдання №3.** Відцентровий насос подає в конденсатор паровий

двигуна морського судна забортну воду, що охолоджує, в кількості  $Q_n = 1800 \text{ м}^3/\text{час}$ .

**Визначити** необхідну потужність двигуна насоса  $N_{дв}$  при наступних даних: загальна довжина трубопроводу, виконаного з міді.  $l = 20 \text{ м}$ , його діаметр  $d = 500 \text{ мм}$ ;

2) значення коефіцієнтів місцевих опорів (віднесені до швидкості в трубопроводі):

Донний клапан з приймальними ґратами  $\xi_1 = 3,0$

Засувкаю ... ..  $\xi_2 = 0,3$

Відведення під кутом  $90^\circ$  .....  $\xi_3 = 0,3$

Відведення під кутом  $180^\circ$  .....  $\xi_4 = 0,5$

Забортний клапан .....  $\xi_5 = 7,0$

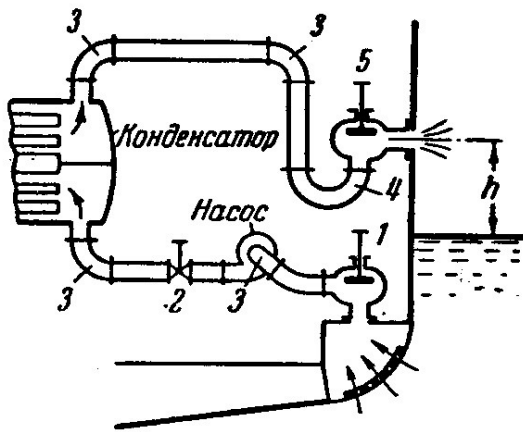
Конденсатор .....  $\xi = 8,0$

Кінематичний коефіцієнт в'язкості води  $\nu = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{сек}$  і її питома вага  $\gamma = 1025 \text{ кГ/м}^3$ . Коефіцієнт корисної дії насоса  $\eta = 0,8$ . Забортний клапан 5 вище за ватерлінії на  $h = 1 \text{ м}$

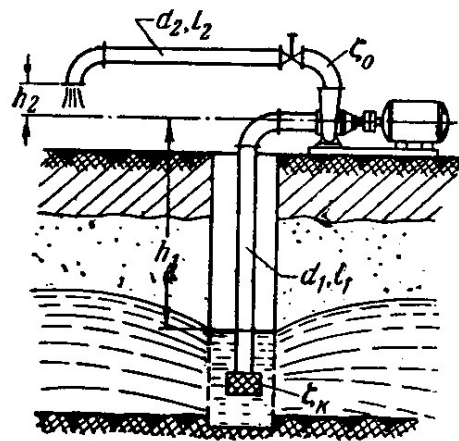
Як зміниться  $N_{дв}$ , якщо при осіданні судна забортний клапан виявиться нижчим за ватерлінію?

**Вказівка.** Трубопровід розглядати як гідравлічно гладкий.

Відповідь.  $N_{дв} = 68$  і  $60 \text{ л.с.}$



До задачі 3.



До задачі 4.

**Завдання №4.** Відцентровий насос відкачує воду з колодязя в кількості  $Q = 40$  л/сек. При цьому горизонт води в колодязі встановлюється на  $h_1 = 5$  м нижче за вісь насоса.

1. Визначити діаметр  $d_1$ , всмоктуючої труби насоса, вважаючи що її довжина  $l=8$  м і вакуум перед входом не повинен перевершувати 7 м вод. ст.

2. Визначити споживану насосом потужність при повністю відкритій засувці на нагнітальній трубі, що має довжину  $l_2 = 5$  м і діаметр  $d_2=150$  мм, якщо вихідний перетин її розташовано на  $h_2 = 0,6$  м вище за вісь насоса, а к. д. насоса  $\eta = 0,7$ .

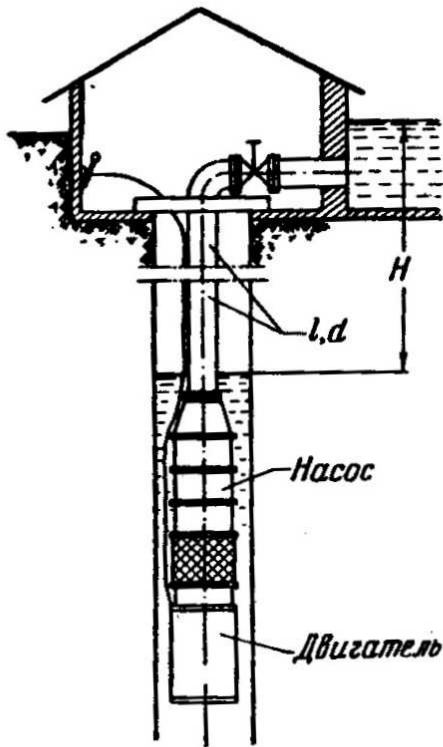
При розрахунках прийняти коефіцієнт опору тертя трубопроводів  $\lambda = 0,03$ , коефіцієнт опору кожного відводу  $\xi_0 = 0,4$ , коефіцієнт опору всмоктуючої коробки з зворотним клапаном  $\xi_k = 5$ .

**Відповідь.**  $d_1 = 150$  мм;  $N_{\text{дв}} = 6,2$  л. с.

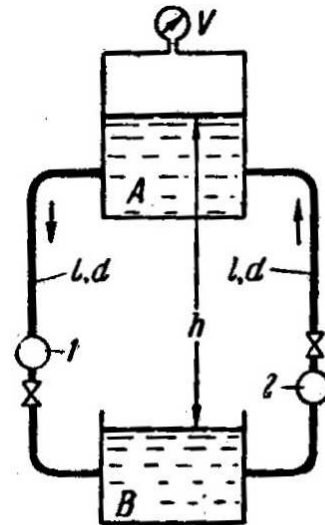
**Завдання №5.** Погружний насос, споживаючий потужність  $N_{\text{дв}}=50$  л. с. при к. д.  $\eta = 80\%$ , відкачує воду з шахти глибиною  $H=100$  м по трубопроводу діаметром  $d=150$  мм і довжиною  $l=120$  м.

**Визначити** подачу насоса, приймаючи коефіцієнт опору тертя трубопроводу рівним  $\lambda = 0,03$  і сумарний коефіцієнт місцевих опорів  $\xi=12$ .

**Відповідь:**  $Q=28,6$ л/сек..



До задачі №5.



До задачі №6.

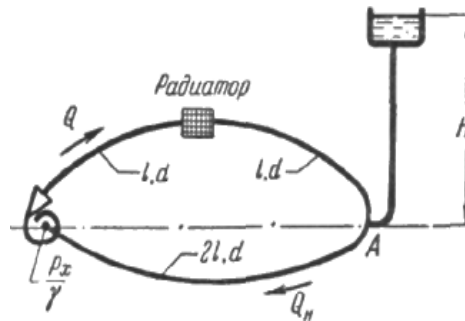
**Завдання №6.** У дослідній установці вода перекачується насосом 1 з бака *A*, де підтримується постійний вакуум  $V=8$  м ст. води, в розташований нижче відкритий резервуар *B* по трубопроводу загальною довжиною  $l=10$  м і діаметром  $d=50$  мм. З резервуару *B* вода повертається в бак *A* насосом 2 по такому ж трубопроводу.

**Визначити**, які напори повинні створювати насоси, щоб в системі циркулювала витрата  $Q = 6$  л/сек, якщо різниця рівнів води  $h = 5$  м. Коефіцієнт опору тертя  $\lambda = 0,03$ , сумарний коефіцієнт місцевих опорів в кожному з трубопроводів  $\xi = 6,5$ .

При якому вакуумі в баку насоси повинні будуть створювати однакові напори?

**Відповідь:** 1)  $H_n = 9$  м і  $H_{n2} = 3$  м. 2)  $V = h = 5$  м ст. води.

**Завдання №7.** Вода циркулює по замкнутій системі, що складається з насоса, радіатора з коефіцієнтом  $\xi_R = 20$  і трьох ділянок трубопроводів діаметрами  $d = 40$  мм і загальною довжиною  $4l$ , де  $l=10$  м (коефіцієнт  $\lambda = 0,02$ ). У точці  $A$  до трубопроводу приєднаний компенсаційний бачок з висотою рівня  $H=6$ м. Подача насоса  $Q_H = 3,76$  л/сек.



**До задачі №7.**

1. Визначити напір і потужність, що розвиваються насосом.

2. Побудувати п'єзометричну лінію для системи і визначити тиск води  $\frac{p_x}{\gamma}$

перед входом у насос.

3. Визначити мінімально допустиму висоту  $H$ , при якій в системі не буде вакууму.

**Відповідь.**  $H_H = 18.2$  м;

$$\frac{p_x}{\gamma} = 1,44 \text{ м (надлишкове)}$$

$$H_{\text{мін}} = 4,56 \text{ м., } N_H = 0,91 \text{ л.с. ;}$$

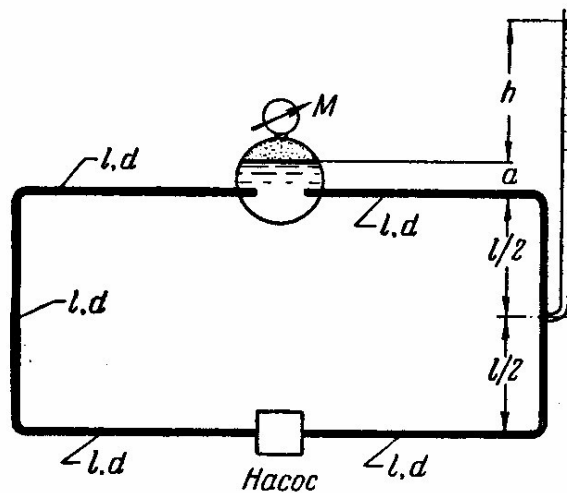
**Завдання №8.** Замкнута циркуляційна система складається з котла, тиск в якому  $M=1,1$  ати, шести однакових ділянок трубопроводу діаметрами  $d=50$  мм і довжинами  $l=12,5$  м, і насоса.

При роботі насоса рівень води в п'єзометрі, встановленому на середині правої вертикальної ділянки системи, розташовується на висоті  $h=5$  м над, рівнем води в котлі.

**Визначити** напрям циркуляції води в системі. Нехтуючи місцевими втратами і швидкісними напорами, знайти витрату, напір і потужність насоса (вважаючи  $\lambda = 0,025$ ).

**Визначити** тиск перед насосом і за ним. Побудувати п'єзометричну лінію для системи (верхні труби розташовані на глибині  $a = 1,5$  м під. рівнем води у котлі).

**Відповідь.**  $Q_n = 6,95$  л/сек;  $H_n = 24$  м;  $N_n = 167$  кГМ/сек;  $\frac{P_1}{\gamma} = 13$  м вод. ст.;  $\frac{P_2}{\gamma} = 37$  м вод. ст.



До задачі №8.

**Завдання №9.** При перекачуванні нафтопродуктів з питомою вагою  $\gamma = 900$  кГ/м<sup>3</sup> и вязкостью  $\mu = 0,005$  кГ сек/м<sup>2</sup> у кількості  $Q_n = 56$  л/сек на відстані  $l = 16$  км при статичній висоті підйому  $H_{ст} = 30$  м можна використовувати труби діаметром  $d = 150$  мм або  $d = 200$  мм, ті і другі для тисків, які не перевищують  $p = 65 \div 70$  кГ/см<sup>2</sup>.

**Визначити** в обох випадках необхідну для перекачування потужність насосів і число послідовно працюючих станцій.

**Вказівка.** Трубопровід рахувати гідравлічно гладким. Коефіцієнт опору тертя визначати за формулою  $\lambda = \frac{0,316}{Re^{1/4}}$ .

**Відповідь.**  $N_n = 1220$  л. с., 3 станції;  $N_n = 324$  л. с., 1 станція.



*До задачі №10.*

**Завдання №10.** Поршневий насос перекачує нафту в кількості  $Q_n = 0,2$  м<sup>3</sup>/сек з резервуару *A* в резервуар *B* по сталевому зварному трубопроводу (еквівалентна шорсткість  $\Delta = 0,2$  мм) загальною довжиною  $l = 8$  км. і діаметром  $d = 400$  мм.

1. Визначити напір і потужність насоса при заданих відмітках рівнів, якщо кінематичний коефіцієнт в'язкості нафти  $\nu = 0,8$  см<sup>2</sup>/сек, а її питома вага  $\gamma = 840$  кг/м<sup>3</sup> (враховувати тільки втрати на тертя).

2. Знайти тиск в точці *K*, розташованою на відмітці +20 м, якщо довжина трубопроводу до цієї точки  $l_1 = 4$  км.

3. До якої величини можна зменшити подачу насоса, щоб вакуум в точці *K* не перевершував 5 м, ст. нафти? Який буде при цьому напір насосу?

**Вказівка.** За умов завдання трубопровід можна рахувати гідравлічно гладким; для втрат натиску скористатися формулою

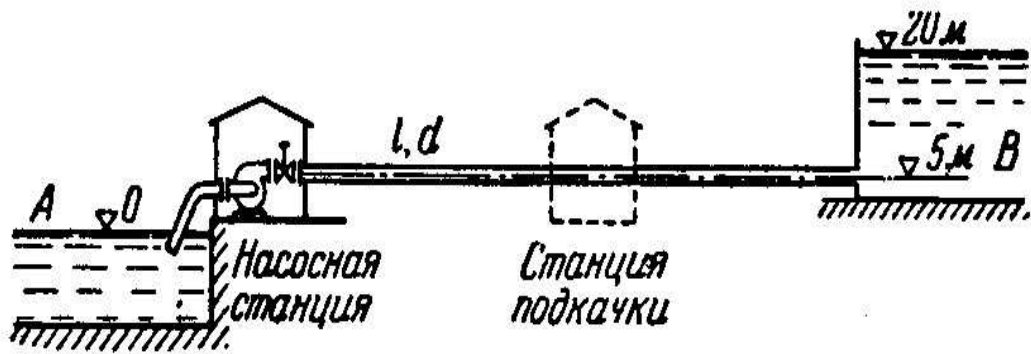
$$h_n = 0,0246 \frac{\nu^{0,25} l Q^{1,75}}{d^{4,75}}$$

Задання величини вакууму в крапці *K* визначає втрату напору в низхідній гілці трубопроводу і, отже, подачу насоса.

**Відповідь.**  $H_n = 76,6$  м;  $N_n = 172$  л. с.;  $\frac{P_k}{\gamma} = 13,3$  м - надмірний тиск

$Q_n = 146$  л/сек;  $H_n = 40$  м.





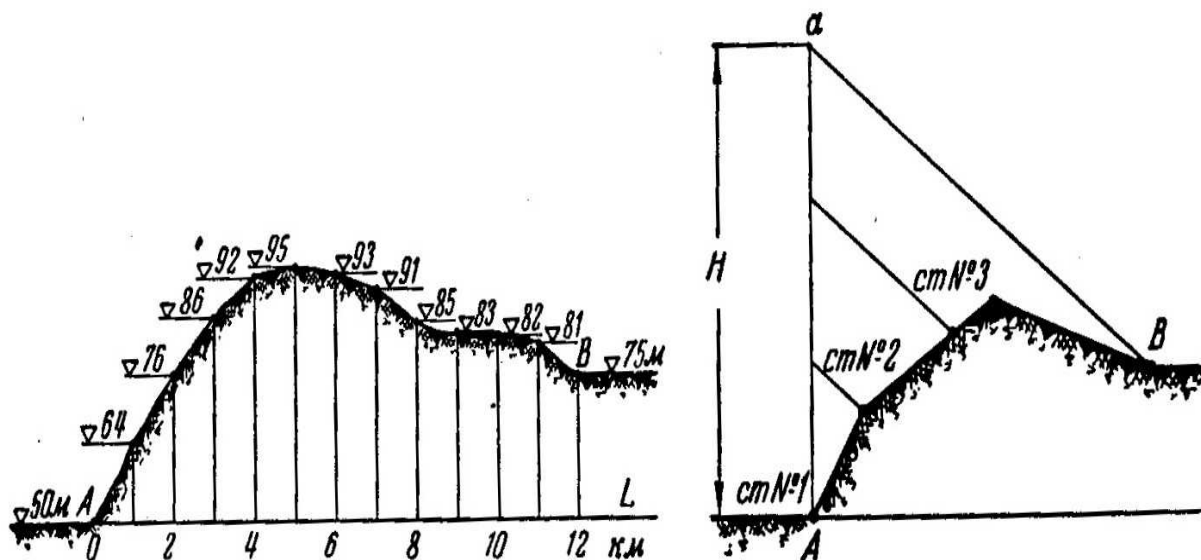
*До задачі №11*

**Завдання №11.** Насосна станція перекачує воду в кількості  $Q = 0,6 \text{ м}^3/\text{сек}$  по горизонтальному трубопроводу довжиною  $l = 5 \text{ км}$ . і діаметром  $d = 500 \text{ мм}$  з басейну  $A$  в резервуар  $B$  з постійними рівнями. Коефіцієнт опору тертя в трубі дорівнює  $\lambda = 0,015$ , а засувка на напірній і лінії відкрита повністю і втратою в ній можна нехтувати.

Визначити потужність насоса, встановленого на насосній станції.

**Визначити**, де і якій потужності треба встановити насос на станції підкачки, щоб по тому ж трубопроводу збільшити подачу  $0,9 \text{ м}^3/\text{сек}$ , забезпечуючи по всій довжині трубопроводу надмірний тиск не менше  $0,5 \text{ ати}$  і вважаючи, що при збільшенні витрати напір насоса на насосній станції, відповідно до його характеристики, зменшиться на 15%.

**Відповідь.**  $N_n = 480 \text{ квт}$ ; на відстані  $2 \text{ км}$ . від насосної станції; потужність насоса на станції підкачки  $N'_n = 900 \text{ квт}$ .



До задачі №12

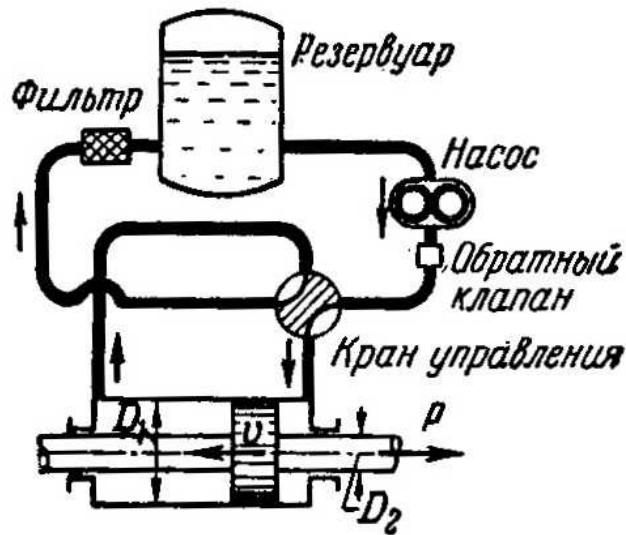
**Завдання №12.** З пункту *A* в пункт *B* необхідно перекачувати воду в кількості  $Q = 250 \text{ м}^3/\text{год}$  по новому сталевому трубопроводу (шорсткість стінок  $\Delta = 0,2 \text{ мм}$ ) діаметром  $d=150 \text{ мм}$  і довжиною  $l = 14,5 \text{ км}$ . при вказаному на схемі профілі траси.

**Визначити**, скільки і в яких пунктах траси необхідно встановити однакових насосних станцій, щоб тиск в трубах ніде не перевищував 50 аті.

**Вказівка.** По числу  $Re$  і шорсткості труби слід визначити коефіцієнт опору тертя  $\lambda$  і потім підрахувати сумарний напір  $H$  всіх насосних станцій необхідний для перекачування заданої витрати.

Розділивши сумарний напір  $H$  на паралельній за завданням напір однієї станції, визначаємо необхідне число насосних станцій.

Місця розташування станцій визначаються графічно за допомогою побудови, показаної на схемі.



До задачі №13

**Завдання №13.** Визначити потужність шестерінчастого насоса, використовуваного в об'ємній гідропередачі для переміщення поршня гідроциліндра, якщо зовнішнє навантаження поршня при робочому ході (справа наліво)  $P = 500 \text{ кГ}$ , швидкість робочого ходу  $v = 0,15 \text{ м/сек}$ , діаметр поршня  $D_1 = 50 \text{ мм}$ , діаметр штока  $D_2 = 20 \text{ мм}$ .

Робоча рідина в системі - спиртогліцерінова суміш з питомою вагою  $\gamma = 1210 \text{ кГ/м}^3$  і кінематичним коефіцієнтом в'язкості  $\nu = 1,2 \text{ см}^2/\text{сек}$ .

Загальна довжина трубопроводів системи  $l = 11 \text{ м}$ , діаметр  $d = 10 \text{ мм}$ .

Місцеві втрати в зворотному клапані, крані управління і фільтрі виражаються через відносні еквівалентні довжини труб, рівні відповідно  $l_3/d = 50, 40, 60$ .

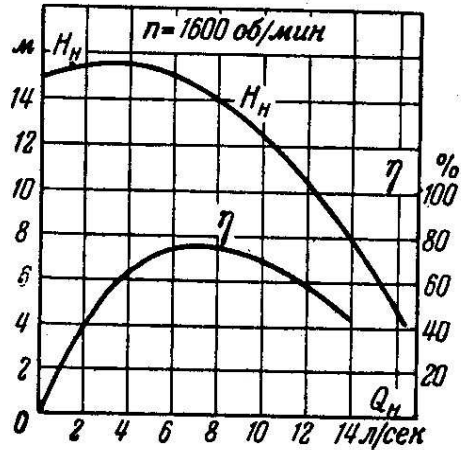
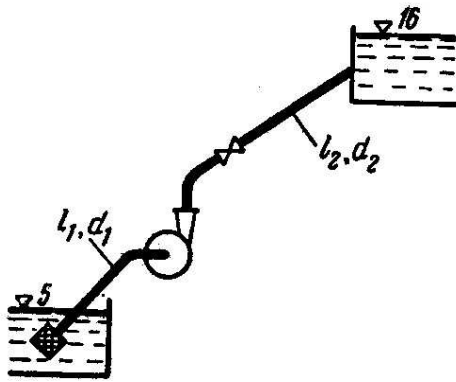
Яка потужність насоса при зворотному ході поршня, якщо подолання зусилля при цьому в 5 разів менше, ніж при робочому ході?

**Вказівка.** Напір насоса в даній установці дорівнює сумі перепаду п'єзометричних напорів по обидві сторони поршня і втрат напору в трубопроводах:

$$N_n = \frac{4P}{\pi(D_1^2 - D_2^2)\gamma} + h_n$$

**Відповідь.**  $N_n = 1,63 \text{ л. з.}; N_n = 0,835 \text{ л. с.}$

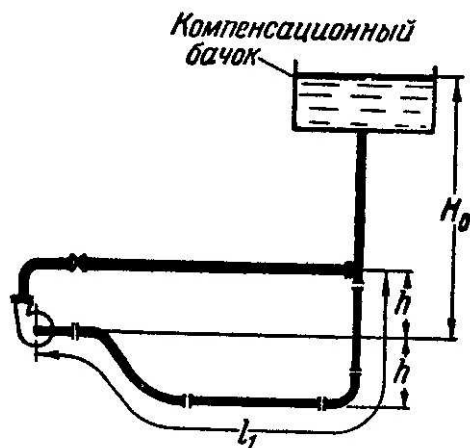
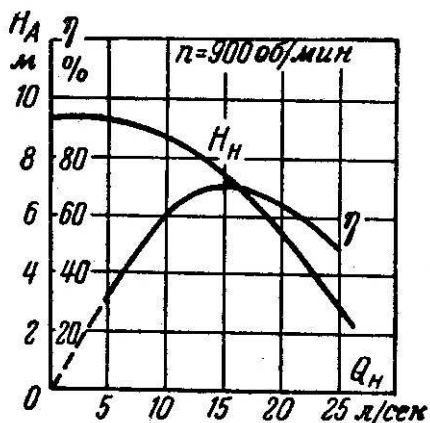
**Задача №14.** Насос з заданою при  $n=1600$  об/хвил характеристикою перекачує воду з резервуара з позначкою  $\nabla -5$  м у резервуар з позначкою  $\nabla 16$  м по трубопроводам  $l_1 = 10$  м,  $d_1 = 100$  мм ( $\Sigma\xi=2$ ;  $\lambda_1=0,025$ ) и  $l_2 = 30$  м,  $d_2=0,075$  м ( $\Sigma\xi = 12$ ;  $\lambda_2 = 0,027$ ).



До задачі №14.

1. **Визначити** подачу  $Q_n$ , напір  $H_n$  насоса і споживану ним потужність при  $n = 1600$  об/хвил.
2. **Визначити** число оборотів  $n_1$  насоса, необхідне для збільшення його подачі на 50%.

**Відповідь.**  $Q_n = 7,3$  л/сек;  $H_n = 14,3$  м;  $N_{об} = 1,86$  л. с.;  $n = 1875$  об/хвил.



До задачі №15.

**Завдання №15.** Відцентровий насос здійснює циркуляцію води у замкнутому трубопроводі з компенсаційним бачком, відкритим у атмосферу.

1. Визначити споживану насосом потужність при роботі з числом оборотів  $n = 900$  об/хвил (характеристика задана), якщо температура перекачуваної води  $t = 60^{\circ}\text{C}$  ( $\lambda = 983 \text{ кг/м}^3$ ), розрахункова довжина трубопроводу (з урахуванням місцевих опорів)  $l = 200 \text{ м}$ , діаметр  $d = 0,1 \text{ м}$ .

2. Побудувати п'єзометричну лінію для потоку в системі і визначити тиск перед входом в насос, якщо рівень води в компенсаційному бачку  $H_0 = 10 \text{ м}$ ;  $h = 2 \text{ м}$ ;  $l_1 = 100 \text{ м}$ .

3. Визначити мінімально допустимий рівень  $H_0$  в компенсаційному бачку, якщо тиск перед входом в насос не має бути менше  $1 \text{ ата}$ ; коефіцієнт опору тертя в трубах прийняти рівним  $\lambda = 0,025$ .

**Відповідь.**  $N_{\text{дв}} = 2 \text{ л. з.}; p = 0,6 \text{ ати}; H_0 = 4 \text{ м}$ .

**Завдання №16.** Відцентровий насос із заданою характеристикою ( $n = 1450$  об/мин) перекачує воду по сифоновому трубопроводу діаметром  $d = 50 \text{ мм}$  і завдовжки  $3l = 75 \text{ м}$  з резервуару  $A$  в резервуар  $B$ . Різниця рівнів в резервуарах  $H = 8 \text{ м}$ ; верхня точка сифона розташована на висоті  $h = 5 \text{ м}$  від рівня у верхньому резервуарі.

Нехтуючи місцевими втратами і швидкісними напорами і вважаючи що коефіцієнт опору тертя  $\lambda = 0,025$ , визначити:

- 1) подачу, напір и к. к. д. насоса;
- 2) де слід встановити насос (на висхідній або низхідній ділянці сифона) і чому?
- 3) яка була б витрата води по сифону без насоса?
- 4) які тиск у верхній точці сифона за відсутності і за наявності насоса?
- 5) які були б умови роботи насоса ( $Q_n', H_n', \eta_n'$ ) при перекачуванні води по сифону у зворотньому напрямі, тобто з нижнього резервуару у верхній?

**Відповідь.**  $Q_n = 6 \text{ л/сек}; H_n = 10 \text{ м}; \eta = 60\%$ .

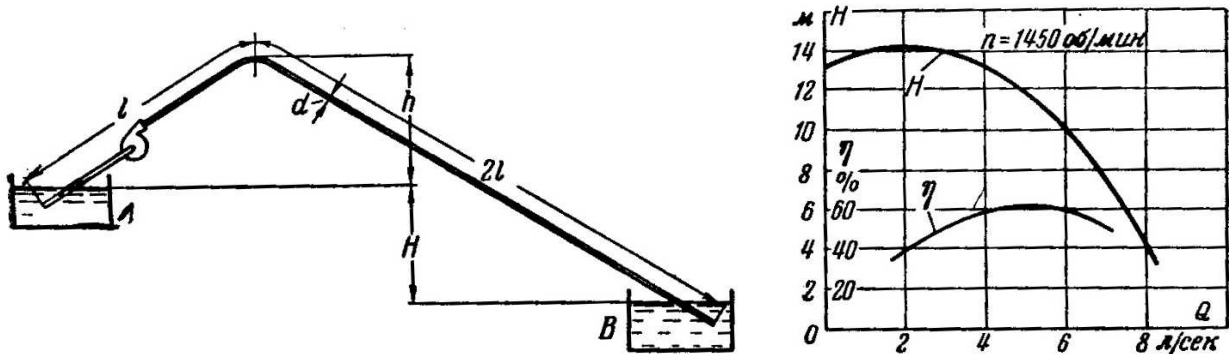
На висхідній ділянці (з умов всмоктування)

$$Q_c = 4 \text{ л/сек.}$$

Вакуум за відсутності насоса - 7,67 м вод. ст.; за наявності насоса –

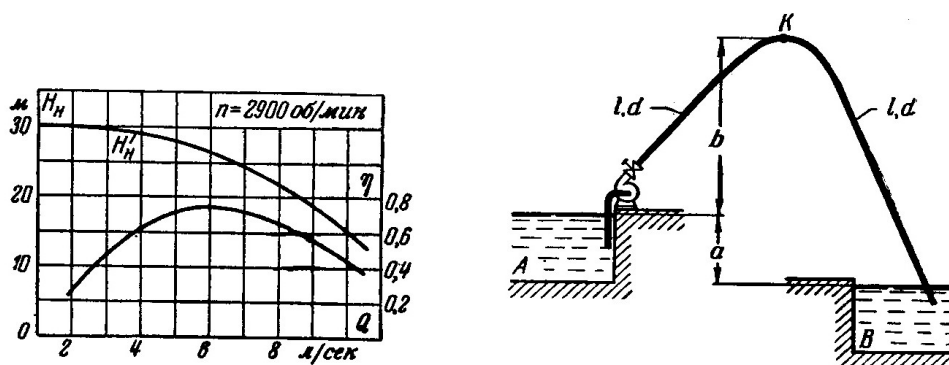
1 м вод. ст.

$$Q'_H = 3,4 \text{ л/сек; } H'_H = 13,6 \text{ м; } \eta' = 56\%$$



До задачі №16

**Завдання №17.** За допомогою відцентрового насоса, характеристика якого задана при  $n = 2900 \text{ об/хвил}$ , необхідно перекачувати воду по сифоновому трубопроводу з однаковими висхідною і низхідною гілками довжиною  $l = 10 \text{ м}$  кожна і діаметром  $d = 40 \text{ мм}$ .



До задачі №17.

Різниця рівнів в баках  $a = 2 \text{ м}$ , верхня точка К сифона розташована на висоті  $b = 8 \text{ м}$ . Коефіцієнт опору тертя  $\lambda = 0,03$ .

Визначити найменше число оборотів насоса, при якому в точці К не буде вакууму.

**Відповідь.**  $n_{\text{мин}} = 2500 \text{ об/хвил}$ .

**Завдання №18.** Відцентровий насос з відомою характеристикою відкачує воду з збірного колодязя в басейн з постійним рівнем  $H=12$  м по трубопроводах  $l_1 = 8$  м,  $d_1=100$  мм і  $l_2= 16$  м,  $d_2=75$  мм.

При роботі насоса з постійним числом оборотів  $n=1450$  об/хвил визначити:

а) на якій глибині  $h$  встановиться рівень води в колодязі, якщо притока в нього  $Q = 8$  л/сек.

б) найменше число оборотів насоса, яке забезпечить відсутність переповнювання колодязя при заданій притоці.

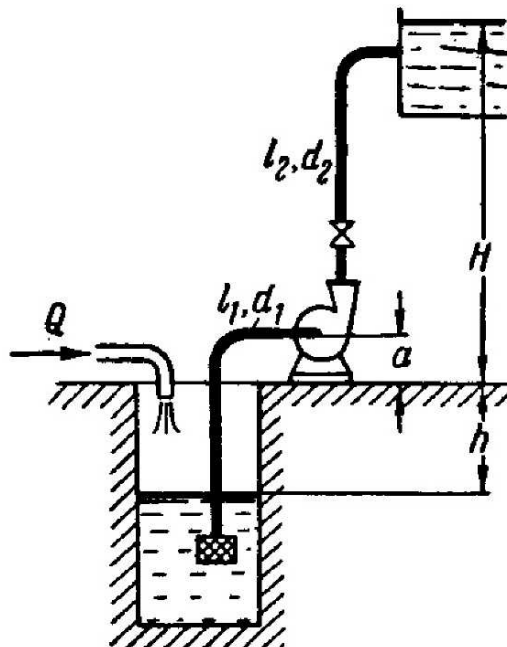
При розрахунках прийняти коефіцієнти опору тертя  $\lambda_1 = 0,03$  і

$\lambda_2 = 0,035$  і сумарні коефіцієнти місцевих опорів  $\xi_1=6$  і  $\xi_2=10$ .

Характеристика насоса при  $n = 1430$  об/мин

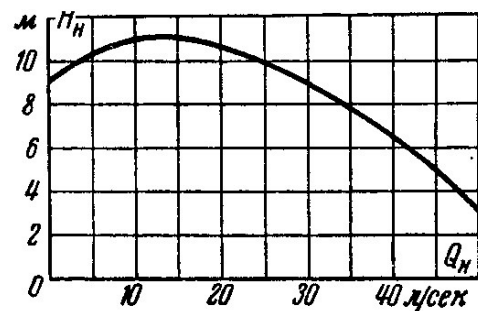
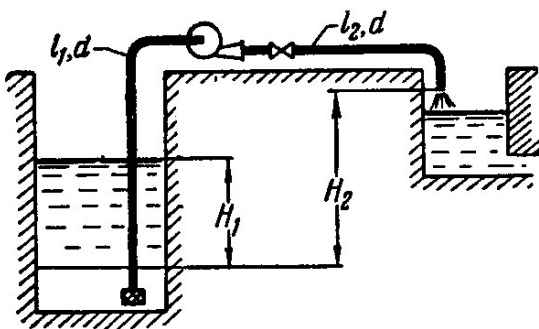
$Q_n$	$H_n$	$\eta, \%$	$Q_n, \text{л/сек}$	$H_n, \text{м}$	$\eta, \%$	$Q_n, \text{л/сек}$	$H_n, \text{м}$	$\eta, \%$
0	22,0	0	6	22,4	71	12	18	68
2	22,	37	8	21,5	75	14	15	56
4	22,	58	10	20,0	74	16	11	37

**Відповідь.**  $h = 6,12$  м;  $n = 1260$  об/мин.



До задачі 18

**Завдання №19.** Відкачування ґрунтової води з колодязя проводиться відцентровим насосом із заданою характеристикою по гнучких шлангах загальною довжиною  $l = l_1 + l_2 = 7 \text{ м}$  і діаметром  $d = 0,1 \text{ м}$ . Визначити час пониження рівня в колодязі на  $H_1 = 3 \text{ м}$  за умови, що площа його поперечного перетину  $6,25 \text{ м}^2$ , а вихідний отвір напірного трубопроводу розташований вище за кінцевий рівень у колодязі на  $H_2 = 4 \text{ м}$ . Прийняти коефіцієнт опору тертя шлангів  $\lambda = 0,04$ , сумарні коефіцієнти місцевих опорів у всмоктуючому трубопроводі  $\xi_1 = 6$  і в нагнітальному трубопроводі  $\xi_2 = 4$ .



**До задачі №19**

**Вказівка.** Слід побудувати характеристику трубопроводу для початкового  $(H_2 - H_1)$  і кінцевого  $(H_2)$  статичних напорів системи і визначити початкову  $Q_1$  і кінцеву  $Q_2$  подачі насоса. У пропонуваному завданні  $Q_1$  і  $Q_2$  близькі по величині і час пониження рівня можна визначити по середній витраті, рівній  $\frac{Q_1 + Q_2}{2}$

**Відповідь.**  $t = 12 \text{ хвил.}$

**Завдання №20.** Відцентровий насос із заданою при  $n = 900 \text{ об/хвил}$  характеристикою забирає воду з басейну з постійним рівнем  $\nabla = 0$  і через проміжний колодязь подає її у водонапірну башту з відміткою рівня  $\nabla 20 \text{ м}$ .

1. Визначити число оборотів і потужність, споживану насосом, якщо його подача в башту  $Q_n = 60 \text{ л/сек}$ , розрахункові довжини труб (що включають всі



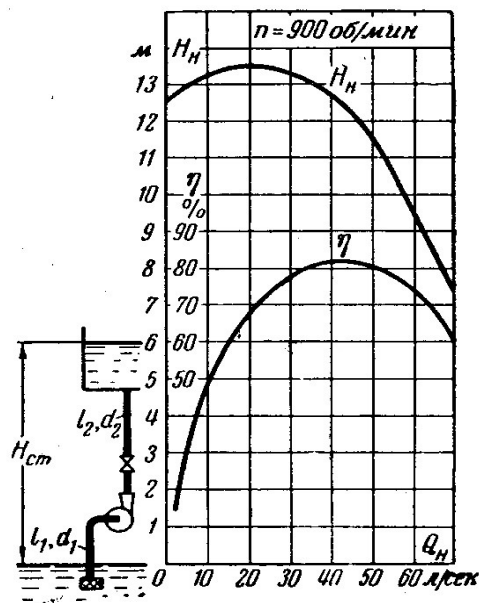
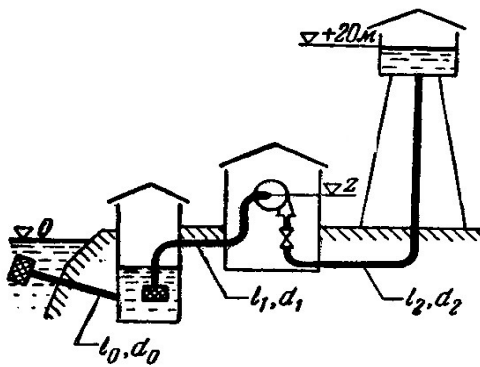
місцеві опори при  $\lambda = 0,03$ ):  $l_0 = 10 \text{ м}$ ,  $l_1 = 10 \text{ м}$ ;  $l_2 = 100 \text{ м}$ ; діаметри  $d_0 = 0,2 \text{ м}$ ;  $d_1 = 0,2 \text{ м}$ ;  $d_2 = 0,15 \text{ м}$ .

2. При знайдених оборотах визначити найбільшу висоту  $z$  розташування осі насоса за умови, що вакуум на вході в нього не повинен перевершувати 6 м вод. ст.

Характеристика насоса при  $n = 900 \text{ об/мин}$

$Q_{\text{н}}, \text{ л/се}$	$H_{\text{н}}, \text{ м}$	$\eta, \%$	$Q_{\text{н}}, \text{ л/сек}$	$H_{\text{н}}, \text{ м}$	$\eta, \%$
0	1	0	40	12,5	82
10	13,25	45	50	11	82
20	13,5	67	60	9,5	75
30	13,25	70	70	7,5	60

**Відповідь**,  $n = 1440 \text{ об/хвил}$ ;  $N_{\text{дв}} = 32,4 \text{ л.с.}$ ;  $z = 5,25 \text{ м}$



До задачі №20.

До задачі №21

**Завдання №21.** Відцентровий насос із заданою при  $n = 900 \text{ об/хвил}$  характеристикою піднімає воду на висоту  $H_{\text{ст}} = 6 \text{ м}$  по трубах  $l_1 = 20 \text{ м}$   $d_1 = 0,2 \text{ м}$  ( $\lambda_1 = 0,02$ ) і  $l_2 = 100 \text{ м}$   $d_2 = 0,15 \text{ м}$  ( $\lambda_2 = 0,025$ ).

1. Визначити подачу  $Q_{\text{н}}$  насоса при роботі його з числом оборотів  $n = 900 \text{ об/хвил}$ .

2. Порівняємо споживані насосом потужності при зменшенні його подачі на 25% дроселюванням засувкою або зміною числа оборотів

Місцеві опори враховані еквівалентними довжинами, включеними в задані довжини труб.

**Відповідь.**  $Q_n = 47$  л/сек;  $N_{\text{дв}} = 7,6$  л. с.;  $N_{\text{дв}} = 5,3$  л.с.

**Завдання №22.** Визначити подачу  $Q_n$  і потужність  $N_n$  відцентрового насоса, характеристика якого задана при  $n = 3000$  об/хвил таблицею, якщо цей насос подає воду по шлангах  $l_1 = 6\text{ м}$   $d_1 = 100\text{ мм}$  ( $\lambda_1 = 0,025$ ;  $\xi_1 = 4$ ) і  $l_2 = 40\text{ м}$   $d_2 = 90\text{ мм}$  ( $\lambda_2 = 0,035$ ;  $\xi_2 = 10$ ) через насадок який сходиться (сприск)  $d = 40\text{ мм}$  ( $\xi = 0,08$ ), на висоту  $H_{\text{ст}} = 16\text{ м}$ .

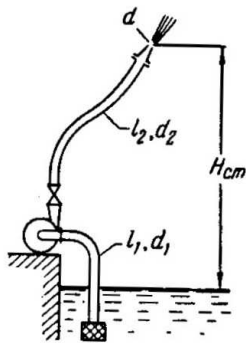
*Характеристика насоса при  $n = 3000$  об/хвил*

$Q_n$ , л/сек	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0
$H_n$ , м	140	140	136	130	121	110	98

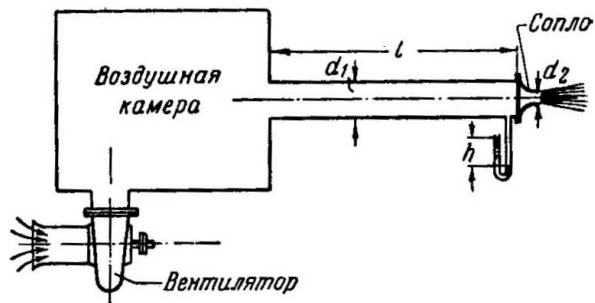
**Вказівки.** Криву потрібного напору установки потрібно будувати з урахуванням швидкісного напору на виході з сприска, тобто

$$H_{\text{потр}} = H_{\text{ст}} + h_n + \frac{v^2}{2g}$$

**Відповідь.**  $Q_n = 26,5$  л/сек;  $N_n = 38$  л. с.



*До задачі №22.*



*До задачі №23*

**Завдання №23.** При тарировці сопла діаметром  $d_2 = 175$  мм повітря до нього подається відцентровим вентилятором через проміжну повітряну камеру великого об'єму і трубу довжиною  $l = 2$  м і діаметром  $d = 200$  мм.

Коефіцієнт опору тертя труби  $\lambda=0,02$ , коефіцієнт опору сопла  $\xi_c = 0,06$ .

Визначити надмірний тиск в камері і подачу вентилятора, якщо його характеристика, що зв'язує подачу  $Q$  в м<sup>3</sup>/год із статичним напором в камері  $H_{ст}$  в метрах стовпа повітря, задана наступною таблицею:

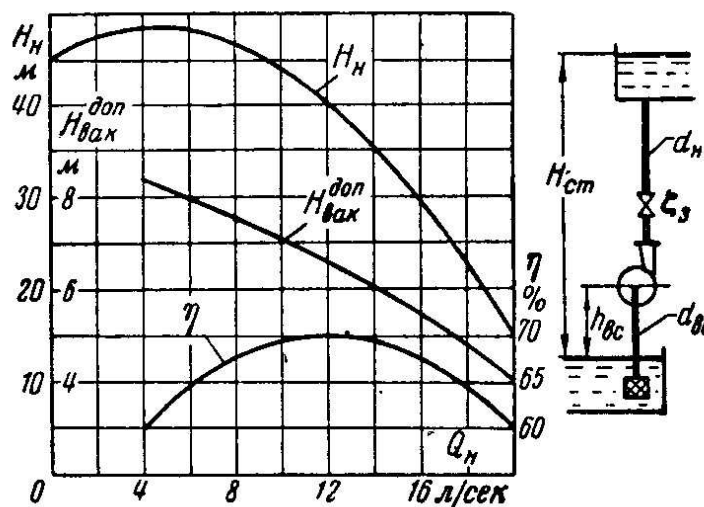
<b>Q, м<sup>3</sup>/час</b>	0	500	1000	1500	2000	2500
<b>H ст., м</b>	50	47	42	35	26	18

Стисливістю повітря нехтувати, вважаючи питому вагу повітря за постійну і рівну  $\gamma=1,2$  кГ/м<sup>3</sup>.

**Визначити**, які при цьому будуть показання водяного манометра перед соплом.

**Відповідь.**  $\frac{p_u}{\gamma} = 30,5$  м повіт. стовпа.;  $Q=0,485$  м<sup>3</sup>/сек;  $h=11,4$  мм.

**Завдання №24.** У насосній установці вода подається на висоту  $H_{ст}=15$  м відцентровим насосом з заданою характеристикою при висоті всмоктування  $h_{вс}=4$  м. Нагнітальна і всмоктуюча труби мають діаметри  $d_n=80$  мм і  $d_{вс}=100$  мм.



До задачі №24

Сумарний коефіцієнт опору нагнітальної труби (без урахування засувки на виході з насоса)  $\xi_H=22$  і всмоктуючою  $\xi_{вс}=6$ .

Визначити найбільшу продуктивність насоса, допустиму за умовами всмоктування ним рідини. Яке мінімальне значення коефіцієнта опору засувки  $\xi_3$ , при якому буде досягнута ця продуктивність? Яку потужність споживатиме на цьому граничному режимі?

**Вказівка.** На характеристиці насоса приведена крива  $H_{вак}^{дон}$  допустимого вакууму перед насосом (у метрах ст. води), який забезпечує відсутність кавітації в насосі. Точка перетину цієї кривої з кривою, що виражає вакуум перед насосом  $H_{вак}$ , в даній установці при різних  $Q_v$ , визначає дійсну найбільшу продуктивність насоса. Рівняння кривої  $H_{вак}$ :

$$H_{вак} = h_{вс} + h_{n_{де}} + \frac{v_{вс}^2}{2g},$$

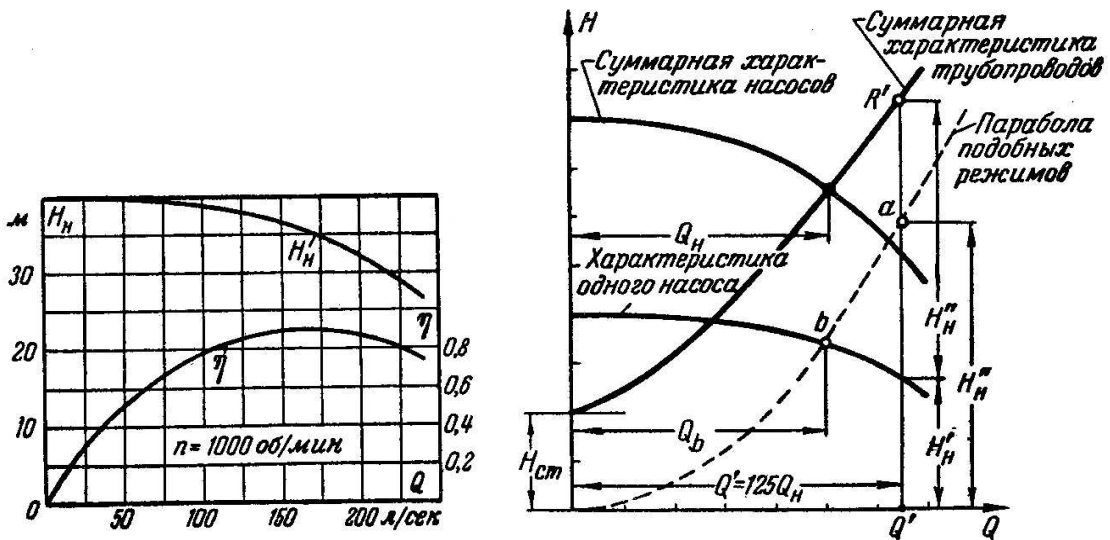
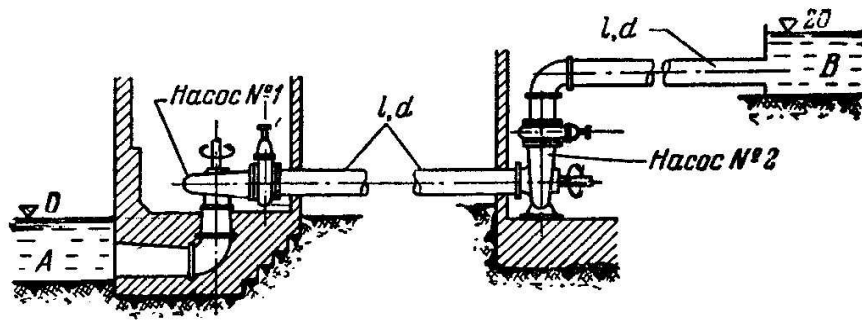
Де  $h_{n_{де}} = \xi_{вс} \frac{v_{вс}^2}{2g}$  - сума втрат напору у всмоктуючій трубі.

**Відповідь.**  $Q_H=16$  л/сек;  $\xi_3 = 4,5$ ;  $N_{дв} = 9,5$  л. с.

**Завдання №25.** Два послідовно сполучених однакових відцентрових насоса з заданими характеристиками перекачують воду при однакових числах оборотів  $n_1=n_2=1000$  об/хвил з водосховища А в басейн В по трубопроводу, що складається з двох однакових ділянок довжиною  $l=1$  км. і діаметром  $d=250$  мм кожен (коефіцієнт опору тертя  $\lambda=0,02$ )

Нехтуючи місцевими втратами, визначити подачу насосів і потужність їх двигунів.

Як необхідно змінити число оборотів одного з насосів, щоб збільшити подачу на 25% ?



До задачі №25

**Вказівка.** При послідовній роботі двох насосів з однаковим числом оборотів  $n=1000$  об/хвилн робоча точка визначається перетином сумарної характеристики насосів з сумарною характеристикою трубопроводів (див. рис).

При збільшенні витрати на 25% шляхом зміни числа оборотів одного з насосів до  $n_1$  робоча точка переміститься в  $R'$ ; при цьому напір насоса при новому числі оборотів стане рівним  $H'_N$ , а напір насоса, обороти якого незмінні, стане рівним  $H''_N$ .

Якщо по вертикалі, проведеній через точку  $Q' = 1,25Q_N$ , відкласти від осі абсцис відрізок  $H''_N$  (точка  $a$ ) і через точку  $a$  провести параболу подібних режимів, то  $\frac{Q'}{Q_b} = \frac{n'}{n}$

**Відповідь.**  $Q=128$  л/сек;  $N_n=64,5$  л. с.;  $N_{об}=77,5$  л. с. Збільшити обороти до  $n=1730$  об/хвил.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРИ

1. Карасев В.В. Насосы и насосные станции. – Минск: Высшейш. Шк., 1979.
2. Турк В.И., Минаев А.В., Карелин В.Я. Насосы и насосные станции. – М.: Стройиздат, 1977.
3. Федоров Н.Ф., Курганов Н.Ф., Алексеев М.И. Канализационные сети: Примеры расчета. – М.: Стройиздат, 1985.
4. Юрьев Б.Т., Гуманис В.А., Сипол А.Э. Водоотведение городов и поселков. – Рига: Авотос, 1989.
5. Лукиных А.А., Лукиных И.А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле академика Н.Н. Павловского. – М.: Стройиздат, 1987.
6. СНиП 2.04.03-85 Канализация, наружные сети и сооружения.
7. Калицун В.И. Гидравлический расчет водоотводящих сетей. Справочное пособие. – М.: Стройиздат, 1988.
8. Яковлев С.В., Ласков Ю.М. Канализация. – М.: Стройиздат, 1987.
9. Василенко А.И., Василенко А.А. Канализация. Курсовое проектирование. – К. Вища школа, 1975.
10. Ласков Ю.М., Воронов Ю.В., Калицун В.И. Примеры расчетов канализационных сооружений. – М.: Стройиздат, 1987.
11. Насосы. Каталог-справочник.
12. Титов Ю.П. Методические указания для самостоятельных работ по насосам и воздуходушным станциям. – Харьков, ХИИГХ, 1989.

# ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	3
<b>Модуль 1. Насосні станції водопостачання</b> .....	4
<b>ЗМ 1.1 Насосні станції водопостачання і водовідведення</b> .....	4
Основне устаткування насосних станцій .....	6
Лопатеві насоси, застосовувані в насосних станціях водопостачання .....	7
<b>ЗМ 1.2. Класифікація насосних станцій водопостачання</b> .....	17
Механічне устаткування насосних станцій .....	22
Сміттєзатримуючі пристрої .....	22
Затвори, засувки, клапани .....	24
Підйомно-транспортний пристрій .....	25
Допоміжне устаткування насосних станцій .....	26
Комунікації всмоктувальних і напірних трубопроводів .....	26
Система заливання насосів перед пуском .....	28
Система технічного водопостачання (СТВ) .....	29
Дренажні системи. Системи осушення .....	29
Система видалення осаду з водоприймальних камер .....	30
Контрольно-вимірвальна апаратура насосних станцій .....	30
Методика визначення основних параметрів насосних станцій .....	31
Насосні станції I підйому .....	32
Насосні станції II підйому .....	36
Режим роботи насосних станцій при пожежі .....	48
Вибір кількості насосів, установлюваних на станції .....	52
Послідовність виконання розрахунків по визначенню подачі напору насосів насосних станцій водопостачання .....	53
Підбір насосів і заходів щодо забезпечення їхньої роботи оптимальному режимі .....	56
Зміна частоти обертання робочого колеса насоса .....	57
Зрізання робочого колеса насоса .....	63
<b>Модуль 2. Насосні станції каналізації</b> .....	68
<b>ЗМ 2.1. Конструкція ЦБН одноколісних двоколісних</b> .....	68
Технічна частина проекту .....	70
Прийомний резервуар .....	70
Грабельне приміщення .....	70
Машинний зал станції .....	71
Підйомно – транспортне устаткування .....	72
Внутрішній водопровід і каналізація .....	72
<b>ЗМ 2.2. Особливості проектування каналізаційних насосних станцій..</b>	73
Попереднє визначення повного напору насосної станції .....	76
<b>ПРИКЛАДИ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ</b> .....	79
<b>ЗАДАЧІ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ</b> .....	98
Список літератури.....	118

Навчальне видання

**Яковенко** Микола Михайлович,

**Тітов** Юрій Петрович

Методичні вказівки до практичних занять і самостійної роботи з дисципліни "Насосні і повітродувні станції" (для студентів 4, 5 курсів денної, заочної форм навчання напрямів підготовки 0926 «Водні ресурси», 6.060103 «Гідротехніка (водні ресурси)» спеціальності "Водопостачання та водовідведення")

Редактор *З. І. Зайцева*

Комп'ютерне верстання *Ю.П. Степась*

План 2009, поз. 160М

---

Підп. до друку 12. 05. 2010

Друк на ризографі.

Зам. №

Формат 60 x 84 1/16

Ум. друк. арк. 5,0

Тираж 100 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківська національна академія міського господарства,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: [rectorat@ksame.kharkov.ua](mailto:rectorat@ksame.kharkov.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК №731 від 19.12.2001