



**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ
СИТУАЦІЙ**

**Черкаський інститут пожежної безпеки
імені Героїв Чорнобиля**

Національного університету цивільного захисту України

*Є. О. Тищенко, Є. С. Ленартович, К. І. Мигаленко,
О. І. Мигаленко*

**ЗБІРНИК ЗАДАЧ
(Технічна механіка рідини і газу,
Спеціальне водопостачання)**

Навчальне видання перекладене та доповнене

ЧЕРКАСИ 2017

УДК 614.8
ББК 38.96-6П
Р-64

Авторський колектив:

к.т.н., доцент Тищенко Є.О., к.т.н., с.н.с. Ленартович Є. С.,

к.т.н. Мигаленко К. І., к.е.н. Мигаленко О. І.

Збірник задач (Спеціальне водопостачання, Технічна механіка рідини і газу)
– Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2017. – 86 с.

Збірник задач складений у відповідності з навчальними програмами з курсу «Технічна механіка рідин і газу» та «Спеціальне водопостачання» і включає в себе два розділи, у кожному з яких є теоретична частина та задачі з докладними розв'язками; до всіх інших задач дані відповіді.

У збірнику використовуються сучасна термінологія й міжнародна система одиниць у відповідності з останніми державними стандартами й нормативами.

Збірник задач може бути корисним для курсантів, студентів та слухачів спеціальностей «Пожежна безпека» та «Цивільний захист» вищих закладів освіти, а також інших технічних спеціальностей.

Матеріал викладений на 86 сторінках, що включає в себе 40 ілюстрацій, список літератури складається з 5 найменувань.

Рецензенти:

А. В. Швиденко – підполковник служби цивільного захисту, кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри організації заходів цивільного захисту факультету цивільного захисту Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України.

В. М. Нуянзін – підполковник служби цивільного захисту, кандидат технічних наук, начальник науково-дослідної лабораторії інновацій у сфері цивільної безпеки факультету цивільного захисту Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України.

Рекомендовано до друку методичною радою ЧПБ ім. Героїв чорнобиля НУЦЗ України, протокол № 7 від 21.03.2017 року, як посібник для курсантів, студентів, слухачів вищих навчальних закладів пожежно-технічного профілю

© Тищенко Є.О., Ленартович Є.С., Мигаленко К.І., Мигаленко О.І.
© ЧПБ НУЦЗ України, 2017

ЗМІСТ

Розділ 1. Технічна механіка рідин і газу	4
Глава I. Основи статички	4
§ 1. Фізичні властивості рідин та газів	4
§ 2. Гідростатичний тиск. Закон Паскаля	9
§ 3. Епюри гідростатичного тиску	14
Глава II. Основи гідродинаміки	20
§ 4. Основні поняття й визначення. Рівняння нерозривності потоку	20
§ 5. Рівняння Бернуллі для потоку реальної рідини	23
Глава III. Рух рідини по трубах і пожежних рукавах	28
§ 6. Лінійні й місцеві втрати напору	28
§ 7. Гідравлічний удар	33
Глава IV. Витікання рідини через отвори й насадки.	
Пожежні струмені	36
§ 8. Витікання рідини через отвори й насадки	36
§ 9. Вертикальні й похилі струмені. Реакція струменя	39
Глава V. Розрахунки насосно-рукавних систем	42
§ 10. Основні робочі параметри насосів	42
§ 11. Визначення необхідного напору насоса на початку рукавних систем у разі послідовного, паралельного й змішаного з'єднання елементів	45
§ 12. Спільна робота насосів і рукавних систем	50
§ 13. Послідовна робота насосів під час подачі води перекачуванням та паралельна робота насосів на лафетні стволи	54
Розділ II. Системи протипожежного водопостачання	60
Глава VI. Розрахунки зовнішнього водопроводу промислового об'єкта	60
§ 14. Визначення розрахункових витрат води	60
§ 15. Гідравлічний розрахунок зовнішньої водопровідної мережі	63
§ 16. Розрахунки запасних і напірно-регулюючих ємностей.	
Підбір насосів	69
Додатки	73
Список літератури	86

Розділ перший. Технічна механіка рідини і газу.

Розділ перший ділиться на статику, де розглядається рідина та газ в стані спокою і гідродинаміку, де вивчається рідина, що рухається. Закони гідравліки використовуються в багатьох областях техніки, у тому числі й у пожежній справі.

Глава I. Основи статyki.

§ I. Фізичні властивості рідин та газів.

Гази є ідеальні та реальні. Стисливість газів проходить за законом Клапейрона-Менделєєва:

$$P \cdot V = M \cdot R \cdot T, \quad (1.1)$$

де P - тиск;

V - об'єм;

M - маса;

R - газова стала;

T - абсолютна температура, $T = t^{\circ}\text{C} + 273^{\circ}\text{K}$.

Оскільки $\rho = \frac{M}{V}$, то $P = \rho \cdot R \cdot T$

Для реальних газів вводять коефіцієнт стиснення (z):

$$P = z \cdot \rho \cdot R \cdot T \quad (1.2)$$

Ідеальні гази мають чотири процеси зміни стану:

1 - ізохорний – проходить при постійному об'ємі;

2 - ізобарний – проходить при постійному тиску;

3 - ізотермічний – проходить при постійній температурі;

4 - адіабатний – проходить без теплообміну з навколишнім середовищем.

Крім названих, є узагальнюючий – політропний процес. Теплоємність – кількість тепла, необхідна для нагрівання тіла на один градус. Залежно від процесу зміни стану газу розрізняються два види теплоємності:

1 - C_V -ізохорна теплоємність;

2 - C_p -ізобарна теплоємність.

Одиниця вимірювання теплоємності – Дж/кгК.

Співвідношення $\frac{C_p}{C_V} = k$ – адіабатна стала.

Основними фізичними властивостями рідини є: текучість, густина, питома вага, в'язкість, стисливість, температурне розширення.

Густина рідини – фізична величина, чисельно рівна відношенню маси рідини до її об'єму:

$$\rho = \frac{m}{w}, \quad (1.3)$$

де ρ – густина рідини, кг/м³;

m – маса рідини, кг;
 w – об'єм рідини, m^3 .

Питома вага – фізична величина, чисельно рівна відношенню ваги рідини до її об'єму.

$$\gamma = \frac{G}{W}, \quad (1.4)$$

де γ – питома вага рідини, H/m^3 ;

G – вага рідини, H .

Між питомою вагою γ і густиною ρ є залежність:

$$\gamma = \rho g, \quad (1.5)$$

де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

Значення ρ і γ для води й деяких інших рідин за різної температури наведені в додатку 1.

В'язкість – властивість рідини чинити опір відносному зсуву суміжних шарів. В'язкість характеризується коефіцієнтами динамічної в'язкості μ , $\text{Па}\cdot\text{с}$, і кінематичної в'язкості ν , $\text{м}^2/\text{с}$. Між цими коефіцієнтами є залежність:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}. \quad (1.6)$$

Одиниці вимірювання кінематичної в'язкості – $\text{см}^2/\text{с}$, $\text{м}^2/\text{с}$, а динамічної – $\text{Па}\cdot\text{с}$. Старі одиниці вимірювань – пуази - $\text{ПП} = 0,1 \text{ Па}\cdot\text{с}$, $1 \text{ кгс}\cdot\text{с}/\text{м}^2 = 9,81 \text{ Па}\cdot\text{с}$.

Значення коефіцієнтів динамічної й кінематичної в'язкості для деяких рідин наведено в додатку 2.

Стисливість – властивість рідини змінювати свій об'єм за умови зміни тиску. Стисливість характеризується коефіцієнтом об'ємного стиснення β_w , який можна визначати за формулою:

$$\beta_w = -\frac{1}{W} \cdot \frac{\Delta W}{\Delta P}, \quad (1.7)$$

де β_w – коефіцієнт об'ємного стиснення, $1/\text{Па}$;

W – початковий об'єм рідини, м^3 ;

ΔW – зміна об'єму рідини, м^3 ;

ΔP – зміна тиску, Па .

Величина, обернена коефіцієнту об'ємного стиснення, називається модулем об'ємної пружності K . Модуль об'ємної пружності вимірюється в Па .

$$K = 1/\beta_w. \quad (1.8)$$

Коефіцієнти об'ємного стиснення рідини мало змінюються в процесі зміни температури й тиску. Значення коефіцієнтів об'ємного стиснення й модулів пружності для деяких рідин наведено в додатку 3.

Температурне розширення – властивість рідини змінювати свій об'єм у наслідок зміни температури. Температурне розширення характеризується коефіцієнтом температурного розширення β_t , який може бути визначений з виразу

$$\beta t = \frac{\Delta W}{\Delta T}, \quad (1.9)$$

де β_t – коефіцієнт температурного розширення, 1/К;

W – початковий об'єм рідини, м³;

ΔW – зміна об'єму рідини, м³;

ΔT – зміна температури, К.

Коефіцієнти температурного розширення для деяких рідин наведено в додатку 4.

Задачі.

1.1. До резервуара, заповненого газом з тиском P_0 , приєднана трубка опущена в посудину з ртуттю. Необхідно визначити тиск P_0 в резервуарі, якщо ртуть піднялась у трубці на висоту $h=23$ см, $P_{\text{атм}}=740$ мм рт. ст. (Рис. 1.1.)

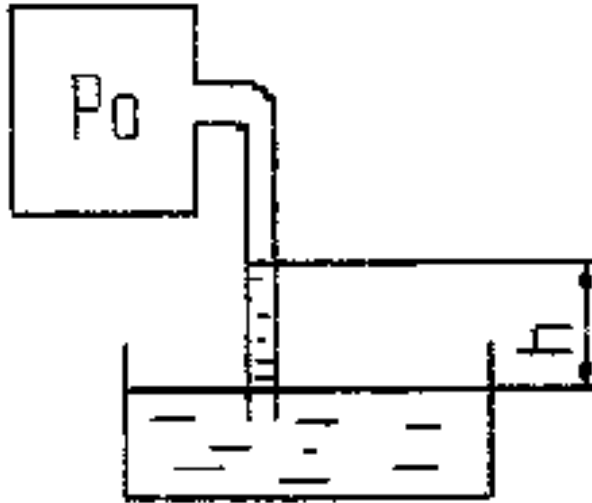


Рис. 1.1.

1.2. До резервуара, заповненого газом з тиском $P_0=3$ м в. ст., приєднана трубка, опущена в посудину з ртуттю. Необхідно знайти висоту h , на яку піднімається ртуть у трубці, якщо вакуум у резервуарі становить P_0 , а атмосферний тиск – $P_{\text{атм}}=98$ кПа. (Рис. 1.1.)

1.3. Визначити масу води в рукаві діаметром 51 мм і довжиною 20 м.

Розв'язання. Маса води визначається з формули (1.3)

$$m = \rho W$$

Густина води визначається за додатком 1

$$\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$$

Об'єм води

$$W = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l = \frac{3,14 \cdot 0,051^2}{4} \cdot 20 = 0,04084 \text{ м}^3.$$

Тоді

$$m = 1000 \cdot 0,04084 = 40,84 \text{ кг.}$$

Відповідь: $m = 40,84$ кг.

1.4. Визначити вагу води в рукавах діаметрами 66 мм і 77 мм, довжиною

20 м.

Відповідь: $G_1=670,9$ Н; $G_2=913,2$ Н.

1.5. Визначити масу дизельного мазуту, що знаходиться в цистерні об'ємом 50 м^3 , якщо густина мазуту становить 920 кг/м^3 .

Відповідь: $m = 4,7 \cdot 10^4$ кг.

1.6. Визначити вагу етилового спирту в об'ємі 20 літрів.

Відповідь: $G=155,5$ Н.

1.7. Під час гідравлічних випробувань резервуарів допускається витік води, який за I добу не повинен перевищувати 3 л з квадратного метра змоченої поверхні. Чи можливо прийняти в експлуатацію резервуар прямокутної форми, що має розміри в плані 12×6 м, в якому рівень води за I добу знизився з 3,5 м до 3,48 м. Визначити масу води, що витекла.

Розв'язання. Об'єм води, що витекла, склав

$$\Delta W = \omega_{\text{дн}} \cdot \Delta h = 12 \cdot 60,02 = 1,44 \text{ м}^3.$$

Маса води, що витекла

$$m = \rho \cdot \Delta W = 1000 \cdot 1,44 = 1440 \text{ кг.}$$

Площа змоченої поверхні

$$\omega = \omega_{\text{ст.}} + \omega_{\text{дн.}} = (12 + 6) \cdot 2 \cdot 3,5 + 12,0 \cdot 6 = 198 \text{ м}^2.$$

Витік води з I квадратного метра змоченої поверхні у процесі гідравлічних випробувань склав

$$q = \frac{\Delta W}{\omega} = \frac{1,44}{198} = 7,07 \cdot \frac{10^{-3} \text{ м}^3}{\text{м}^2} = 7,07 \text{ л/м}^2,$$

що перевищує встановлену норму.

Відповідь: прийняти в експлуатацію не можна, $m = 1440$ кг.

1.8. Визначити граничну масу води, що витекла за I добу під час гідравлічних випробувань циліндричного резервуару діаметром 18 м. Визначити зниження рівня води, якщо початковий рівень становив 3,9 м.

Відповідь: $m = 1424$ кг; $\Delta h=0,0056$ м.

1.9. Визначити коефіцієнт динамічної в'язкості нафти, якщо коефіцієнт кінематичної в'язкості становить $0,624 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$. Густина нафти 750 кг/м^3 .

Відповідь: $\mu = 4,68 \cdot 10^{-2} \text{ Па} \cdot \text{с}$.

1.10. Водовід пожежного водопроводу діаметром 300 мм і довжиною 50 м, підготовлений до гідравлічних випробувань, заповнений водою за атмосферного тиску. Визначити об'єм води, який необхідно додатково подати у водовід, щоб надлишковий тиск у ньому піднявся до 5 МПа. Деформацією труб водоводу знехтувати.

Розв'язання. З рівняння (1.7) знаходимо, що об'єм води, який необхідно додатково подати у водовід, визначиться як:

$$\Delta W = \beta_w \cdot W \cdot \Delta p.$$

Коефіцієнт об'ємного стиснення води

$$\beta_w = 47 \cdot 10^{-11} \text{ 1/Па.}$$

Початковий об'єм води

$$W = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l = \frac{3,14 \cdot 0,3^2}{4} \cdot 50 = 3,532 \text{ м}^3.$$

Тоді

$$\Delta W = 47 \cdot 10^{-11} \cdot 3,532 \cdot 5 \cdot 10^6 = 8,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Відповідь: $\Delta W = 8,3$ л.

1.11. В процесі гідравлічного випробування технологічного трубопроводу довжиною 200 м і діаметром 250 мм, який був заповнений гасом (керосином), тиск було піднято до 1,5 МПа. Через 1 годину тиск упав до 1,0 МПа. Визначити об'єм гасу, що витік через щілину. Коефіцієнт об'ємного стиснення гасу прийняти $\beta_w = 80 \cdot 10^{-11}$ 1/Па. Деформацією трубопроводу можна знехтувати.

Відповідь: $\Delta W = 3,92$ л.

§ 2. Гідростатичний тиск. Закон Паскаля.

Напруження усередині рідини, що перебуває в стані спокою, називається гідростатичним тиском.

Середнім гідростатичним тиском $P_{\text{ср}}$ називається середнє для даної ділянки $\Delta \omega$ напруга стиснення, викликана силою ΔP . Цей тиск можна визначити як відношення ΔP до $\Delta \omega$ тобто

$$P_{\text{ср}} = \frac{\Delta P}{\Delta \omega} \quad (2.1)$$

Гідростатичний тиск у даній точці визначається як межа відносини ΔP до $\Delta \omega$ за $\Delta \omega \rightarrow 0$, тобто

$$P = \lim_{\Delta \omega \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta P}{\Delta \omega} \right) \quad (2.2)$$

Абсолютний гідростатичний тиск у будь-якій точці рідини складається з тиску на її вільну поверхню й тиску стовпа рідини, висота якого дорівнює відстані від цієї точки до вільної поверхні (рис.2.1).

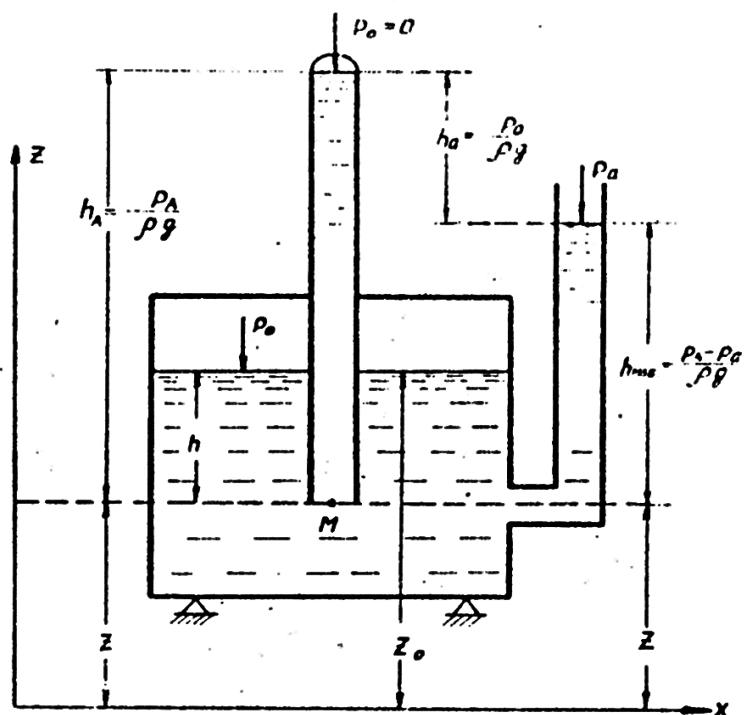


Рис. 2.1.

Основне рівняння гідростатики буде мати вигляд:

$$P_A = P_0 + P(z_0 - z) = P_0 + zh, \quad (2.3)$$

де P_A – повний або абсолютний гідростатичний тиск у даній точці M ;

P_0 – тиск на вільній поверхні;

z – координата точки M ;

z_0 – координата вільної поверхні;

OX – площина порівняння;

ρ – густина рідини, кг/м³;

$h = z_0 - z$ – висота шару рідини над точкою М.

Якщо посудина відкрита, то тиск на вільній поверхні P_0 дорівнює атмосферному $P_{\text{АТМ}}$.

$$P_A = P_{\text{АТМ}} + \rho gh. \quad (2.4)$$

Величину перевищення абсолютного тиску в точці над атмосферним тиском називають надлишковим або манометричним тиском

$$P_H = P_A - P_{\text{АТМ}} = \rho gh. \quad (2.5)$$

Якщо в якій-небудь точці рідини абсолютний тиск менше атмосферного, то стан рідини характеризується так званим вакуумом. Різниця між атмосферним і абсолютним тиском називається вакууметричним тиском P_B

$$P_B = P_{\text{АТМ}} - P_A. \quad (2.6)$$

На підставі основного рівняння гідростатики може бути сформульований закон Паскаля: зовнішній тиск, прикладений до вільної поверхні рідини в замкненій посудині передається в будь-яку точку рідини без зміни. На здатності рідини передавати зміну зовнішнього тиску в усі точки зайнятого нею простору заснований принцип дії гідравлічних машин. На рис. 2.2 показана схема дії гідравлічного преса.

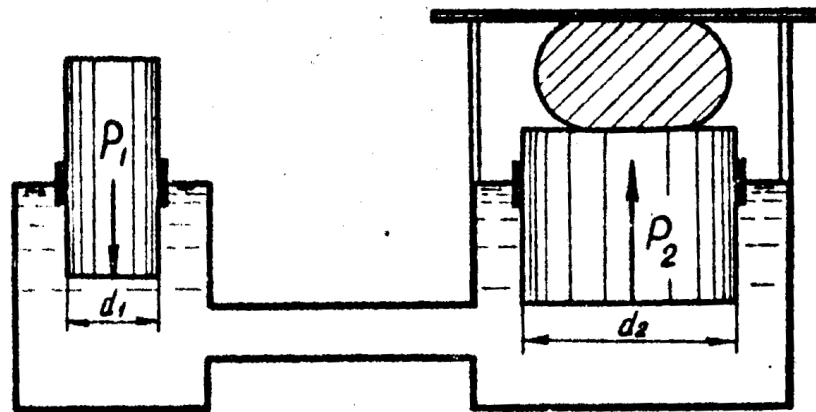


Рис. 2.2.

Якщо на малий поршень діє сила P_1 то сила, що діє на великий поршень, P_2 визначається за рівнянням:

$$P_2 = \eta P_1 \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2, \quad (2.7)$$

де $\eta = 0,8 - 0,85$ – коефіцієнт корисної дії гідравлічного преса, що враховує втрати на тертя.

Гідростатичний тиск вимірюють у Паскалях. Паскаль (Па) – тиск, викликаний силою 1 ньютон (Н), що рівномірно розподілена по нормальній для неї поверхні площі 1 м².

Під час розв'язку практичних задач, де виникає необхідність переведення одиниць, що раніше застосовувалися, в процесі вимірювання тиску в системі СІ, будемо користуватися співвідношеннями:

$$1 \text{ ат} = 1 \text{ кг/см}^2 = 10 \text{ м вод.ст.} = 980665 \text{ Па} \approx 98,1 \text{ кПа}$$

$$760 \text{ мм рт.ст.} = 101325 \text{ Па} \approx 101,3 \text{ кПа}$$

Задачі.

2.1. Яка висота водяного стовпа відповідає тиску 150 кПа?

Розв'язання. З формули (2.5) виходить, що

$$h = \frac{P}{\rho g},$$

де $p = 150 \cdot 10^3 \text{ Па}$ – надлишковий тиск, що створюється стовпом води;
 $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ – густина води.

Тоді

$$h = \frac{150 \cdot 10^3}{1000 \cdot 9,81} = 15,29 \text{ м}$$

Відповідь: $h = 15,29 \text{ м}$.

2.2. Яка висота ртутного стовпа відповідає тиску 80 кПа?

Відповідь: $h = 0,637 \text{ м}$.

2.3. Визначити величину надлишкового тиску на поверхні рідини, що перебуває в закритій ємності (рис. 2.3) у стані спокою, якщо в трубці п'єзометра вода піднялася на висоту $h = 1,8 \text{ м}$.

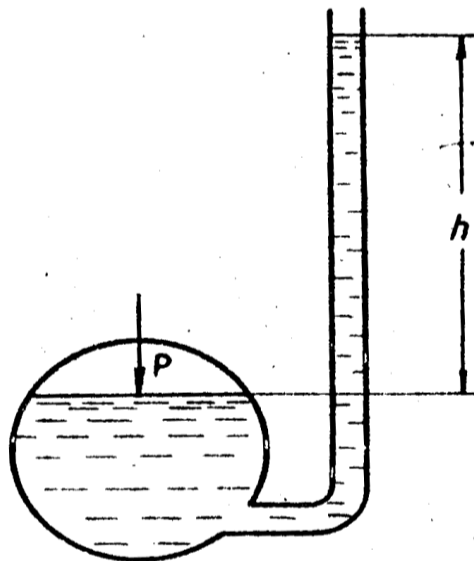


Рис. 2.3.

Відповідь: $p = 17,66 \text{ кПа}$.

2.4. Манометр, за допомогою якого проводилось вимірювання тиску в зовнішній водогінній мережі, показав 2 кг/см^2 . Визначити абсолютний тиск у мережі, якщо атмосферний тиск 750 мм рт.ст.

Розв'язання. Абсолютний тиск у зовнішній водогінній мережі визначається за формулою (2.4)

$$P_{\text{атм}} = 750 \text{ мм. рт. ст.} = \frac{750}{760} \cdot 101,3 = 100,0 \text{ кПа}$$

$$P = 2 \text{ кг/см}^2 = 2 \cdot 98,1 = 196,2 \text{ кПа}$$

Тоді

$$P_A = 100,0 + 196,2 = 296,2 \text{ кПа.}$$

Відповідь: $P_A = 296,2 \text{ кПа.}$

2.5. Визначити абсолютний і надлишковий тиск на дно пожежної водойми глибиною 3,5 м. Атмосферний тиск 735 мм рт.ст.

Відповідь: $P_A = 132,3 \text{ кПа; } P = 34,3 \text{ кПа.}$

2.6. Визначити абсолютний і надлишковий тиск на дно водонапірного бака діаметром 3 м, у якому перебуває 16 м³ води. Атмосферний тиск 750 мм рт.ст.

Відповідь: $P_A = 120,8 \text{ кПа; } P = 20,8 \text{ кПа.}$

2.7. Визначити зусилля, необхідне для відкриття всмоктувального клапана пожежного насоса діаметром 200 мм, якщо довжина рукава $H = 6 \text{ м}$, а глибина занурення всмоктувального клапана $h = 1 \text{ м}$ (рис. 2.4).

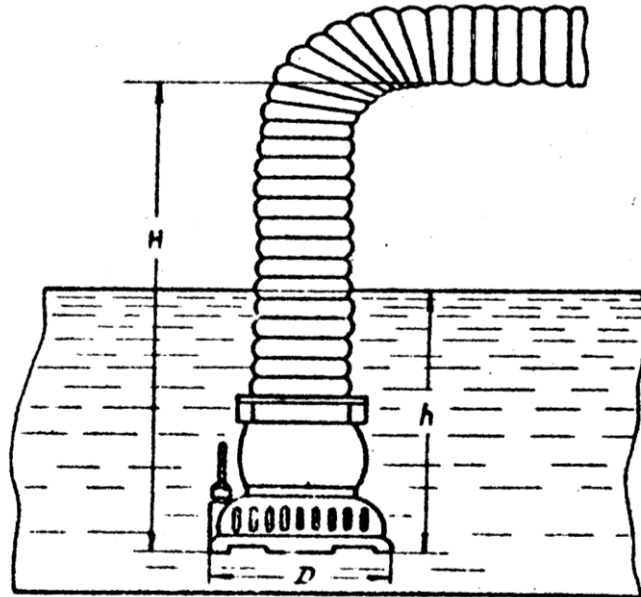


Рис. 2.4.

Відповідь: $P = 1,54 \text{ кН.}$

2.8. Для підйому пожежної техніки під час ремонту застосовується гідродомкрат (рис. 2.5). Визначити силу, що розвиває гідродомкрат, якщо сила F , що діє на руків'я, становить 20 Н, $a/v = 1/9$, $d_2/d_1 = 10$. Коефіцієнт корисної дії $\eta = 0,85$.

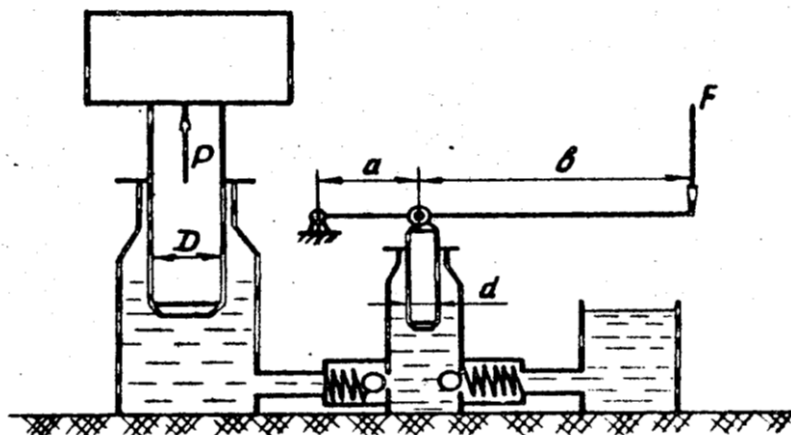


Рис. 2.5.

Відповідь: $P = 150$ кН.

2.9. Визначити тиск масла в циліндрі гідроприводу пожежної драбини (рис. 2.6), якщо діаметр поршня 100 мм. Зусилля на штоку поршня 30 кН, коефіцієнт корисної дії $\eta = 0,95$.

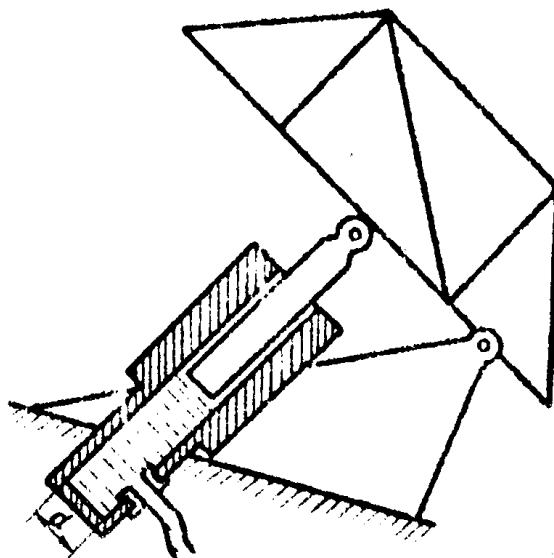


Рис. 2.6.

Відповідь: $P = 40,23 \cdot 10^5$ Па.

§ 3. Епюри гідростатичного тиску.

Сила гідростатичного тиску на плоскі стінки. Закон Архімеда.

Графічне зображення розподілу гідростатичного тиску по поверхні тіла, зануреного в рідину, називається епюрою гідростатичного тиску.

В процесі побудови епюри гідростатичного тиску використовуються два основні принципи, що виходять із властивостей гідростатичного тиску:

- гідростатичний тиск є векторною величиною. Вектор гідростатичного тиску спрямований по нормалі до поверхні тіла, зануреного в рідину;
- модуль вектора гідростатичного тиску визначається по рівнянню (2.4) для побудови епюр абсолютного тиску й (2.5) для побудови епюр надлишкового гідростатичного тиску.

Для плоских прямокутних стінок епюри надлишкового й абсолютного гідростатичного тиску мають вигляд, представлений на рис. 3.1 і 3.2.

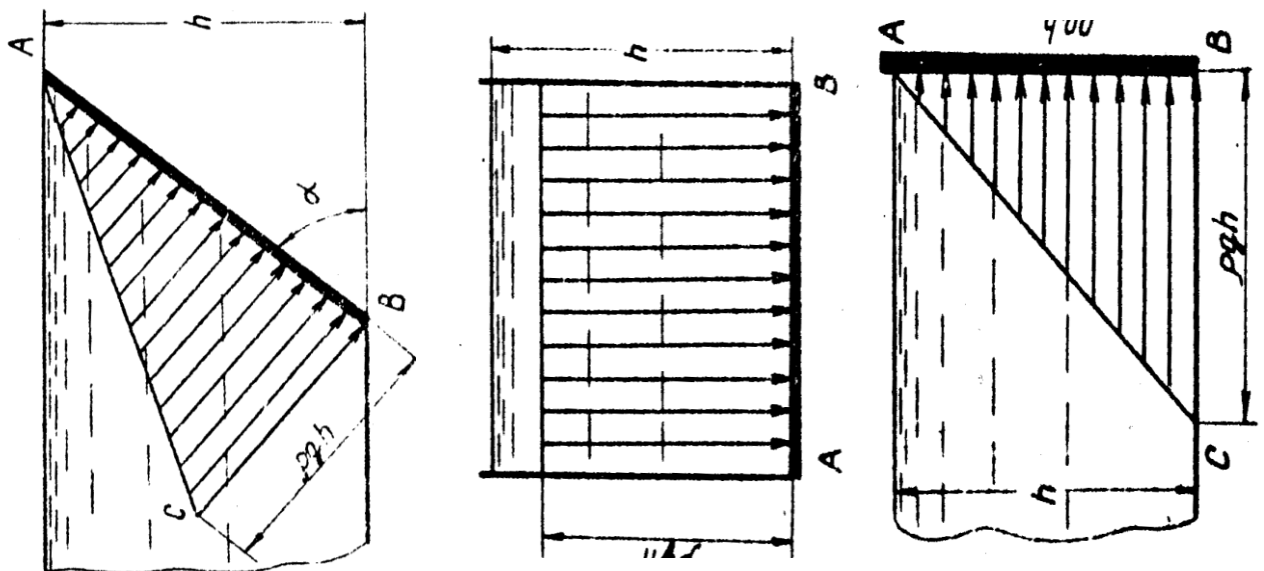


Рис. 3.1.

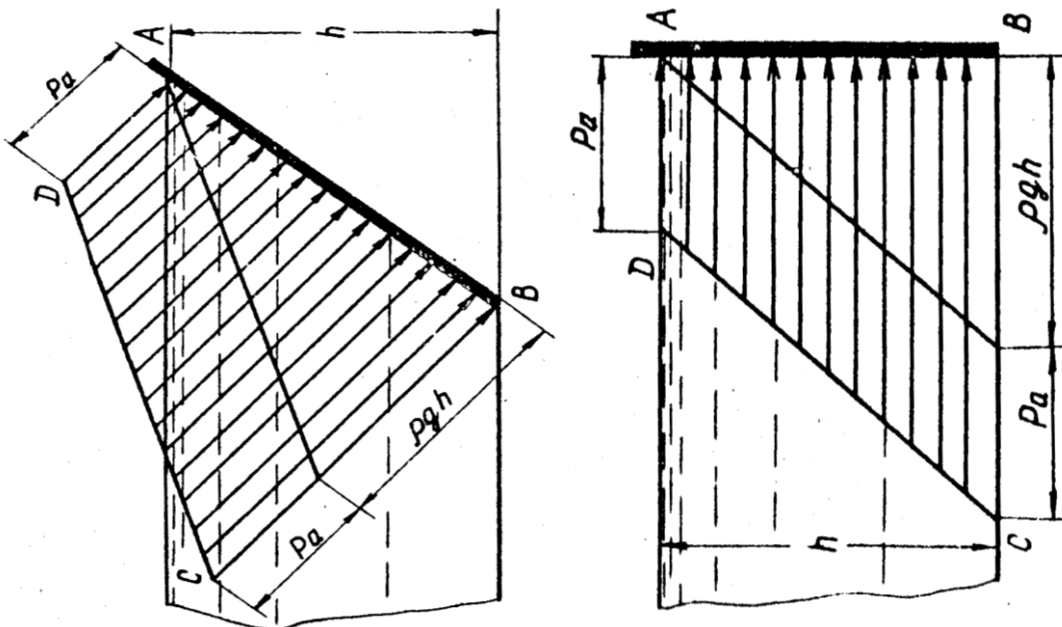


Рис. 3.2.

Рівнодіюча елементарних сил гідростатичного тиску, що діють на яку-небудь стінку, називається силою гідростатичного тиску.

За аналітичного способу знаходження сили гідростатичного тиску на ділянці дорівнює добутку її площі на гідростатичний тиск у центрі ваги ділянки (див. рис. 3.3)

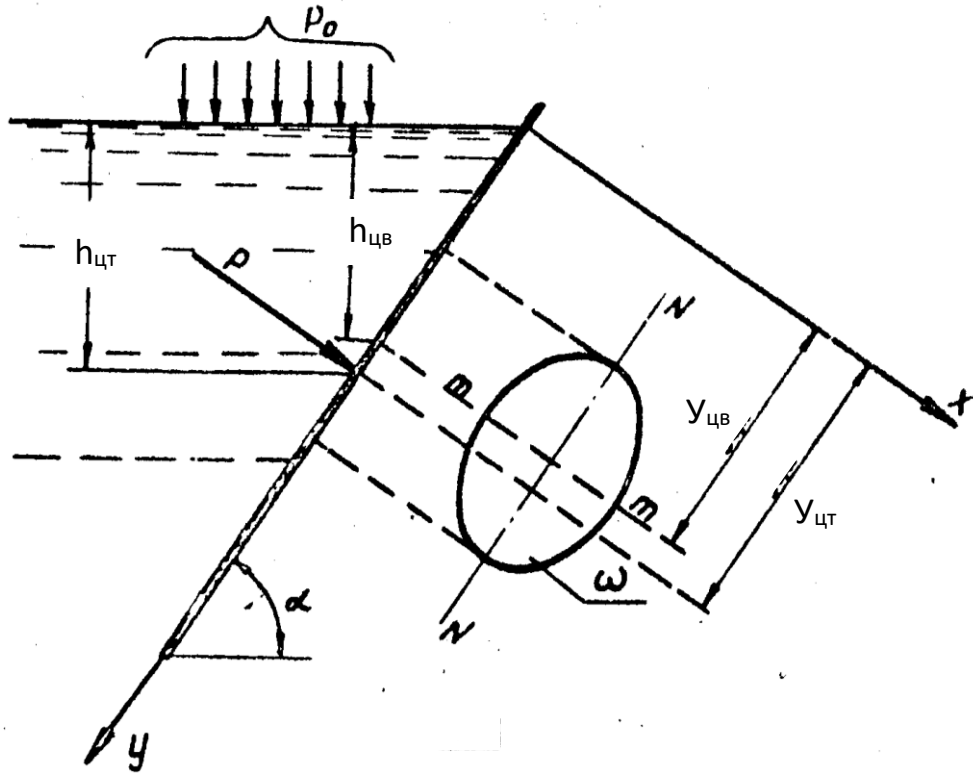


Рис. 3.3.

$$P(P_0 + \rho g h_{ц.в.})\omega = p_{ц.в.}\omega, \quad (3.1)$$

де P – сила гідростатичного тиску, Н;

$h_{ц.в.}$ – глибина занурення центру ваги фігури, м;

$p_{ц.в.}$ – гідростатичний тиск у центрі ваги фігури, Па.

Місце прикладення сили P називається центром тиску. Координата центру тиску $Y_{ц.т.}$ для симетричних щодо осі N-N фігур визначиться з рівняння.

$$Y_{ц.в.} = Y_{ц.в.} + \frac{I_0}{\omega Y_{ц.в.}}, \quad (3.2)$$

де I_0 – момент інерції площі ω щодо осі m-m.

Значення I_0 і $Y_{ц.т.}$ для деяких фігур наведено в додатку 5.

Сила гідростатичного тиску P може бути визначена графічним способом як добуток площі епюри гідростатичного тиску на ширину стінки.

$$P = b \cdot S, \quad (3.3)$$

де S – площа епюри гідростатичного тиску, Н/м;

b – ширина стінки, м.

Сила тиску проходить через центр ваги епюри гідростатичного тиску й спрямована по нормалі до поверхні.

Сила надлишкового гідростатичного тиску для плоских прямокутних стінок, зображених на рис. 3.1, може бути визначена за формулою:

Вертикальна стінка:

$$P = b \frac{\rho g h^2}{2}. \quad (3.4)$$

Горизонтальна стінка:

$$P = \rho g h \omega. \quad (3.5)$$

де ω – площа дна, м².

Похила стінка:

$$P = b \frac{\rho g h^2}{2 \sin \alpha}. \quad (3.6)$$

Закон Архімеда.

Сила, з якою рідина діє на занурене в неї тіло, дорівнює вазі рідини в об'єму зануреного тіла й спрямована вертикально вгору.

$$R = -\rho g W, \quad (3.7)$$

де R – сила, що виштовхує, Н;

ρ – густина рідини кг/м³;

W – об'єм зануреного тіла, м³.

Задачі.

3.1. Визначити силу надлишкового гідростатичного тиску на засувку, що закриває отвір у стінці резервуара (рис. 3.4). Резервуар заповнений нафтою з $\rho = 850$ кг/м³.

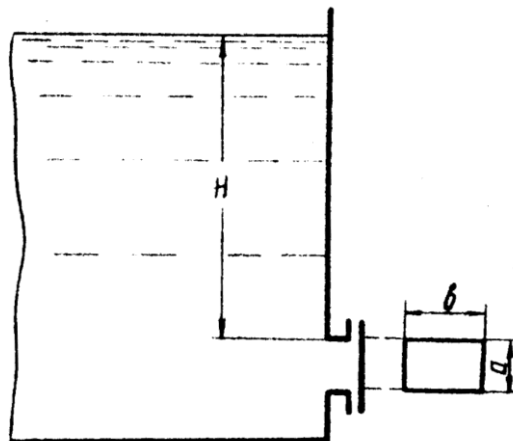


Рис. 3.4.

Розміри заслонки 10 x 10 см. Висота шару нафти до початку засувки 6 м. Побудувати епюру надлишкового гідростатичного тиску на засувку.

Розв'язання. Силу надлишкового гідростатичного тиску визначимо графічним способом як добуток площі епюри надлишкового гідростатичного

тиску на ширину засувки

$$P = bS = b \cdot \text{пл. } ABCD.$$

Епюра надлишкового гідростатичного тиску має форму трапеції, площа якої визначається як добуток півсуми основ на висоту

$$S = \frac{AB+BD}{2} \cdot AB,$$

де $AC = \rho gh_1 = 850 \cdot 9,81 \cdot 6 = 50,03 \cdot 10^3$ Па – гідростатичний тиск у точці А;

$BD = \rho gh_2 = 850 \cdot 9,81 \cdot 6,1 = 50,86 \cdot 10^3$ Па – гідростатичний тиск у точці В;

$AB = h_2 - h_1 = 6,1 - 6,0 = 0,1$ м – висота трапеції.

Тоді

$$S = \frac{(50,03 + 50,86) \cdot 10^3}{2} \cdot 0,1 = 5,045 \cdot 10^3 \text{ Н/м.}$$

Сила надлишкового гідростатичного тиску

$$P = 5,045 \cdot 10^3 \cdot 0,1 = 504,5 \text{ Н.}$$

Відповідь: $P = 504,5$ Н.

3.2. Визначити силу надлишкового гідростатичного тиску на вертикальну стінку водонапірного бака шириною 5 м. У баку, розміри якого в плані становлять 4 x 5 м, знаходиться 35 м³ води. Побудувати епюру надлишкового гідростатичного тиску на цю стінку.

Відповідь: $P = 75,11$ кН.

3.3. Визначити силу надлишкового гідростатичного тиску на відкос пожежної водойми (рис. 3.5) шириною 8 м, якщо глибина води у водоймі 3,5 м, кут нахилу відкосу становить 45°. Побудувати епюру надлишкового гідростатичного тиску.

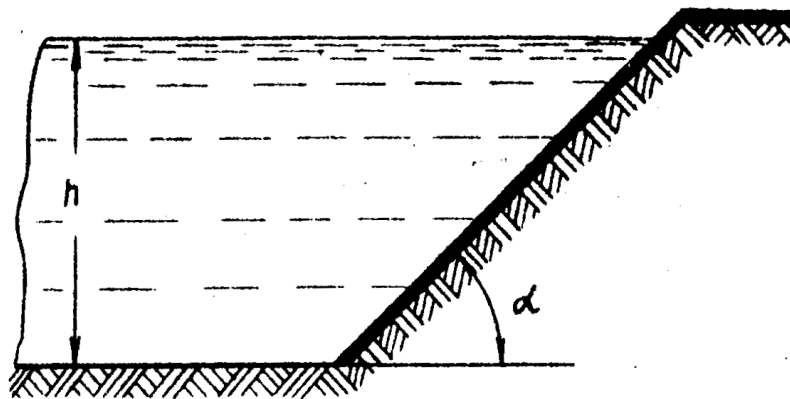


Рис. 3.5.

Відповідь: $P_n = 679,8$ кН.

3.4. Канал шириною 4 м і глибиною 3 м перегороджений щитом прямокутної форми (рис. 3.6). Визначити силу тяги, необхідну для підйому щита вагою 15 кН, якщо коефіцієнт тертя щита по поверхні пазів становить 0,5.

Розв'язання. Сила тяги може бути визначена як сума ваги щита G і сили тертя щита по поверхні пазів $F_{тр}$

$$T = G + F_{\text{тр}}$$

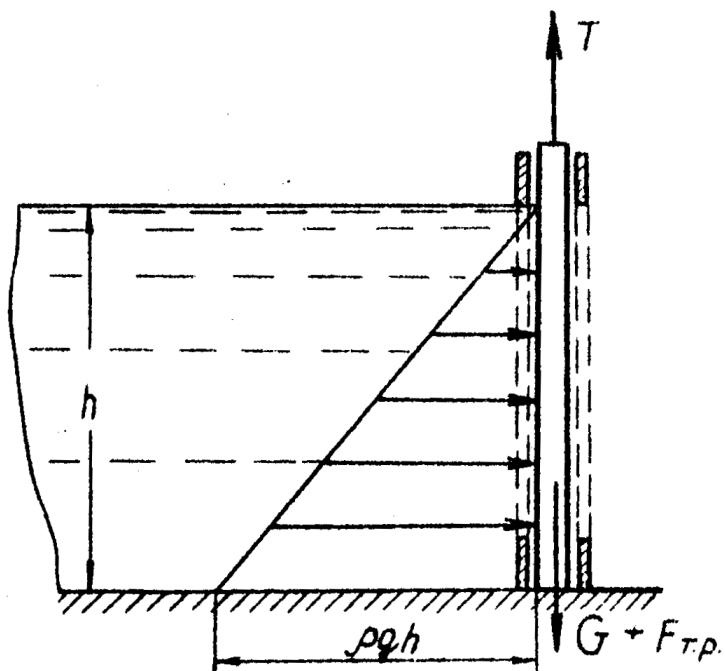


Рис. 3.6.

Сила тертя визначається як добуток сили нормального (у цьому випадку гідростатичного) тиску на коефіцієнт тертя.

Силу надлишкового гідростатичного тиску визначимо графічним способом як добуток епюри надлишкового гідростатичного тиску на ширину стінки

$$P = b \frac{\rho g h^2}{2} = 4 \cdot \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 3^2}{2} = 176,58 \text{ кН.}$$

Тоді

$$T = 15 + 176,58 \cdot 0,5 = 103,29 \text{ кН.}$$

Відповідь: $T=103,29$ кН.

3.5. Визначити силу надлишкового гідростатичного тиску й центр тиску на похилу кришку, яка закриває круглу трубу діаметром 1 м водовипуску з пожежної водойми (рис. 3.7). Кут нахилу кришки $\alpha = 60^\circ$. Вісь водовипуску знаходиться на глибині $H = 2$ м.

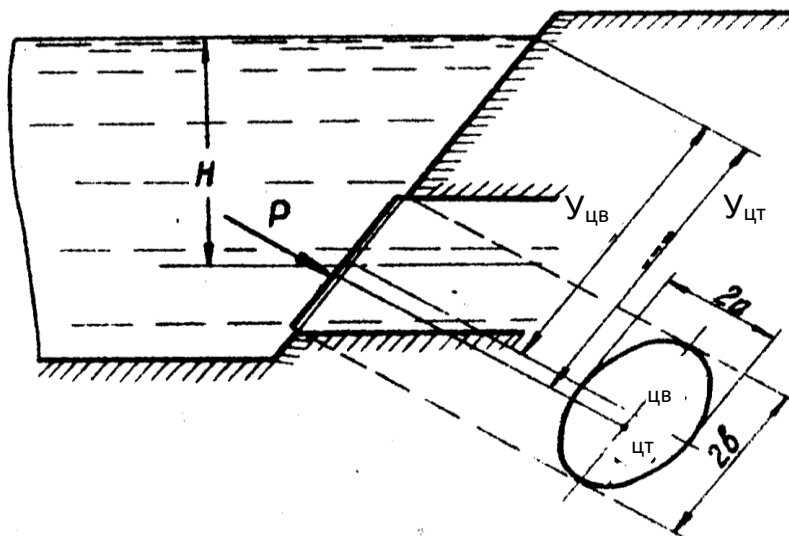


Рис. 3.7.

Розв'язання. Силу тиску на кришку визначимо аналітичним способом як добуток гідростатичного тиску в центрі ваги кришки на її площу:

$$P = p_{\text{ц.в.}} \omega = \rho H \omega.$$

Площа кришки, що має форму еліпса

$$\omega = \pi ab,$$

де a і b – півосі еліпса.

$$a = 0,5 \text{ м}, b \frac{a}{\sin \alpha} = \frac{0,5}{0,866} = 0,577 \text{ м.}$$

$$\omega = 3,14 \cdot 0,5 \cdot 0,577 = 0,906 \text{ м}^2.$$

Тоді

$$P = 1000 \cdot 9,81 \cdot 2 \cdot 0,906 = 17,17 \text{ кН.}$$

Відстань до центру тяжіння еліпса

$$l_{\text{ц.т.}} = l_{\text{ц.в.}} + \frac{I_0}{l_{\text{ц.в.}} \omega},$$

Момент інерції еліпса:

$$I_0 = \frac{\pi ab^3}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,5 \cdot 0,577^3}{4} = 0,075 \text{ м}^4.$$

Тоді

$$l_{\text{ц.т.}} = 2,3 + \frac{0,075}{2,3 \cdot 0,906} = 2,336 \text{ м.}$$

Відповідь: $P=17,77$ кН; $l_{\text{ц.т.}}=2,336$ м.

Глава II. Основи гідродинаміки.

У гідродинаміці вивчаються види й форми руху рідини, а також вивчаються сили, які викликають рух рідини.

§ 4. Основні поняття й визначення. Рівняння нерозривності потоку.

Живим перетином потоку називається поверхня в межах потоку, нормальна до напрямку руху рідини.

Розрізняють три основні гідравлічні елементи живого перетину:

- а) площа живого перетину ω ;
- б) змочений периметр χ , що представляє собою периметр тієї частини поперечного перерізу потоку, яка змочена рідиною, що рухається;
- в) гідравлічний радіус R

$$R = \frac{\omega}{\chi}. \quad (4.1)$$

Витратою рідини Q називається її об'єм, що проходить за одиницю часу через живий перетин.

$$Q = \frac{W}{t}, \quad (4.2)$$

де Q – витрата рідини, м^3 ;
 t – час, с.

Середньою швидкістю потоку називається така швидкість, з якою повинні були б рухатися всі частинки рідини через даний живий перетин, щоб збереглася витрата, відповідний до дійсного розподілу швидкостей у живому перетині.

Середня швидкість потоку $V_{\text{ср.}}$ чисельно дорівнює відношенню витрати до площі живого перетину:

$$V_{\text{ср.}} = \frac{Q}{\omega}, \quad (4.3)$$

де $V_{\text{ср.}}$ – середня швидкість потоку, м/с ;
 ω – площа живого перетину, м^2 .

Критерієм режиму рідини є безрозмірна величина – число Рейнольдса

$$Re = \frac{Vd}{\nu}, \quad (4.4)$$

де V – середня швидкість потоку, м/с ;
 d – діаметр труби, м ;
 ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості, $\text{м}^2/\text{с}$.

За $Re < 2320$ буде мати місце ламінарний режим, а за $Re > 2320$ – турбулентний режим руху рідини.

Якщо рідина рухається без розривів, то за усталеного руху витрата Q для всіх живих перетинів потоку однакова.

$$Q = V_1\omega_1 = V_2\omega_2 = \text{const}, \quad (4.5)$$

де $V_{1,2}$ - середня швидкість у даному перетині, м/с;

$\omega_{1,2}$ - площа живого перетину, м.

З рівняння нерозривності потоку (2.5) виходить, що середні швидкості обернено пропорційні площам живих перетинів

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1}. \quad (4.6)$$

Задачі.

4.1. Визначити середню швидкість руху води в трубі пожежного водопроводу діаметром 200 мм, якщо витрата становить 50 л/с.

Розв'язання. Середня швидкість руху води визначається з рівняння нерозривності потоку.

$$V = \frac{Q}{\omega} = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 50 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,2^2} = 1,59 \text{ м/с.}$$

Відповідь: $V = 1,59$ м/с.

4.2. Визначити витрату води за умови випробування на водовіддачу об'ємним способом внутрішнього пожежного кран-комплекту, якщо за 1 хвилину в мірному баку виявилось 170 л води.

Відповідь: $Q = 2,83$ л/с.

4.3. Визначити витрату води під час випробування на водовіддачу об'ємним способом зовнішньої водогінної мережі, якщо за 30 секунд у мірному баці виявилось 210 л води.

Відповідь: $Q = 7$ л/с.

4.4. Визначити витрату води по пожежному рукаві діаметром 66 мм, якщо середня швидкість руху становить 2,1 м/с.

Відповідь: $Q = 7,18$ л/с.

4.5. Визначити витрату води через насадок пожежного ствола діаметром 16 мм, якщо середня швидкість на зрізі насадка становить 25 м/с.

Відповідь: $Q = 5,02$ л/с.

4.6. Визначити витрату й середню швидкість виходу води з насадка пожежного ствола діаметром 13 мм, якщо швидкість руху води по рукавові діаметром 51 мм становить 2,2 м/с.

Відповідь: $Q = 4,5$ л/с; $V = 33,86$ м/с.

4.7. Визначити мінімальний діаметр труби для ділянки зовнішньої мережі пожежного водопроводу, який призначений для пропуску 20 л/с води. Швидкість руху води не повинна перевищувати 1,2 м/с. Яка буде дійсна швидкість для обраного стандартного діаметра труби?

Розв'язання. З рівняння нерозривності потоку виходить, що:

$$\omega = \frac{Q}{V},$$

де $\omega = \frac{\pi d^2}{4}$ – площа живого перетину.

Прирівнюючи ліві частини рівнянь, одержимо вираз для визначення

необхідного мінімального діаметра труби

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 1,2}} = 0,146 \text{ м.}$$

Обираємо найближчий стандартний діаметр труби:

$$d = 0,15 \text{ м.}$$

Дійсна швидкість руху води:

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,15^2} = 1,13 \text{ м/с.}$$

Відповідь: $d = 150 \text{ мм}$; $V = 1,13 \text{ м/с}$.

4.8. Визначити час спорожнення резервуара, у якому зберігалось 500 м^3 води на зовнішнє пожежогасіння, якщо автонасос подавав воду до місця пожежі в кількості 40 л/с .

Відповідь: $t = 3,47$ години.

4.9. Визначити, на який час в процесі зовнішнього пожежогасіння вистачить 350 м^3 води, якщо нормативна витрата води на пожежогасіння становить 30 л/с .

Відповідь: $t = 3,24$ години.

4.10. Визначити необхідний запас води у водонапірному баку на внутрішнє пожежогасіння протягом 10 хвилин, якщо витрата води для роботи двох пожежних кран-комплектів становить 5 л/с .

Відповідь: $W = 3 \text{ м}^3$.

4.11. Визначити режим руху води в пожежному рукаві діаметром 51 мм . Витрата води становить 4 л/с . Коефіцієнт кінематичної в'язкості $\nu = 1,306 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

Розв'язання. Швидкість руху води по рукаві

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,051^2} = 1,96 \text{ м/с.}$$

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{1,96 \cdot 0,051}{1,306 \cdot 10^{-6}} = 76540.$$

так-як $Re > 2320$ – то режим турбулентний.

Відповідь: режим турбулентний.

4.12. Визначити за якої витрати води по пожежному рукаві діаметром 66 мм режим руху можна вважати ламінарним. Коефіцієнт кінематичної в'язкості $\nu = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

Відповідь: $Q = 0,48 \text{ л/с}$.

§ 5. Рівняння Бернуллі для потоку реальної рідини.

Рівняння Бернуллі є одним з основних рівнянь гідродинаміки, виражає окремий випадок закону збереження енергії для потоку рідини, що рухається. Для сталого, плавно мінливого, потоку реальної рідини, для двох довільно обраних перетинів рівняння Бернуллі має вигляд:

$$z_1 + \frac{\alpha P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha V_2^2}{2g} + h_{1-2}, \quad (5.1)$$

де Z – геометричне положення точки відносно площини зрівняння, м;

$\frac{P}{\rho g}$ – питома потенційна енергія тиску або п'єзометричний напір, м;

$\frac{\alpha v^2}{2g}$ – питома кінетична енергія або швидкісний напір, м;

h_{1-2} – втрати напору на подолання гідравлічних опорів між перетинами, м.

Усі члени рівняння (5.1) мають розмірність довжини й тому його можна зобразити графічно (рис. 5.1).

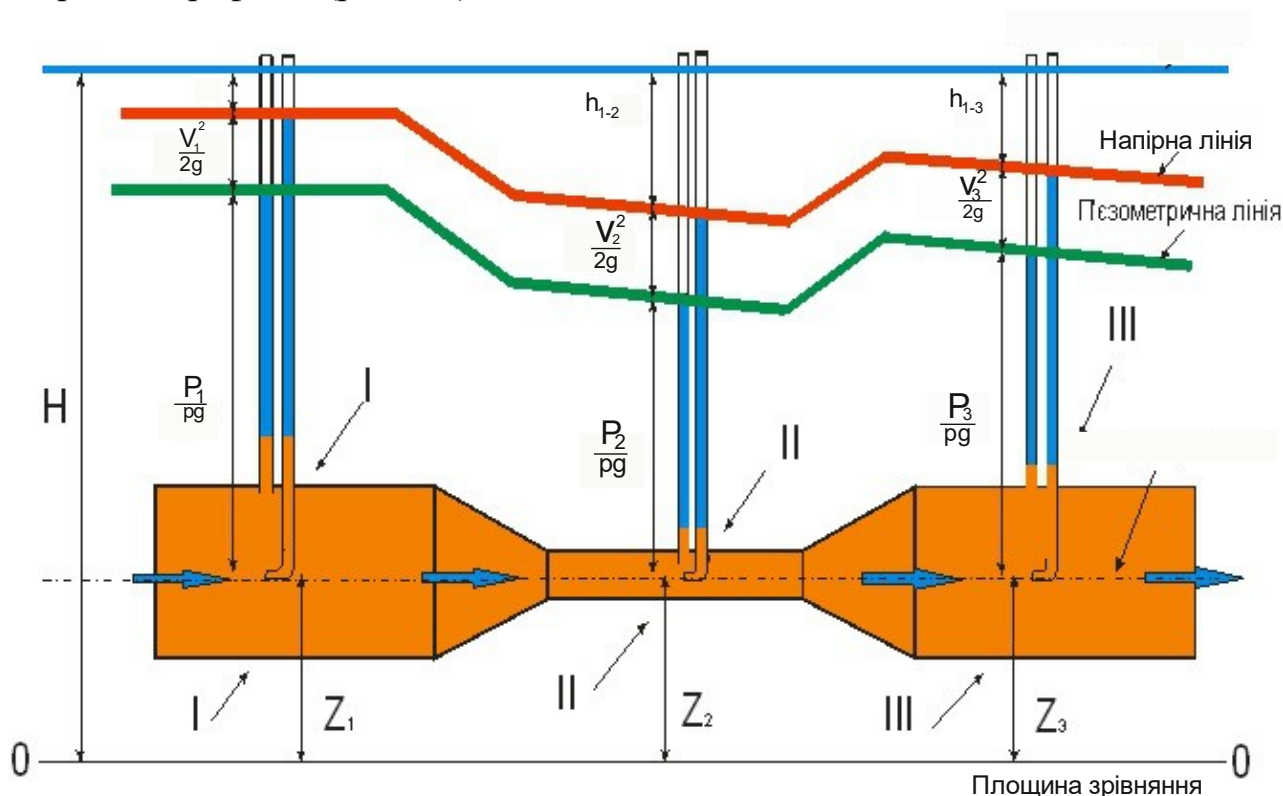


Рис. 5.1.

Відношення втрат напору h_{1-2} на ділянці 1-2 до довжини цієї ділянки l_{1-2} , яка виміряна по осі потоку, називається гідравлічним ухилом:

$$i = \frac{h_{1-2}}{l_{1-2}}. \quad (2.8)$$

Розв'язок задач із використанням рівняння Бернуллі рекомендується проводити в наступній послідовності:

а) вибрати два перетини, які будуть з'єднуватися рівнянням Бернуллі. Необхідно вибрати перетини для яких відомо якомога більше число гідродинамічних елементів, а також перетину, для якого гідродинамічні елементи необхідно визначити;

б) вибрати горизонтальну площину порівняння. Її необхідно вибирати таким чином, щоб Z_1 або Z_2 , що входять у рівняння Бернуллі, стали рівними нулю;

в) записати рівняння (2.7) для двох обраних перерізів;

г) установити значення величин, що входять у рівняння Бернуллі;

д) підставити знайдені значення складових у рівняння Бернуллі й визначити величину, яку шукаємо.

Задачі.

5.1. Визначити граничну висоту розташування осі відцентрового насоса над рівнем води у вододжерелі (рис. 5.2), якщо насос забирає воду в кількості 30 л/с, діаметр всмоктувальної труби 150 мм. Вакууметричний тиск, що створений у всмоктувальному патрубку, становить $6,5 \cdot 10^4$ Па, втрати напору у всмоктувальній лінії 1 м.

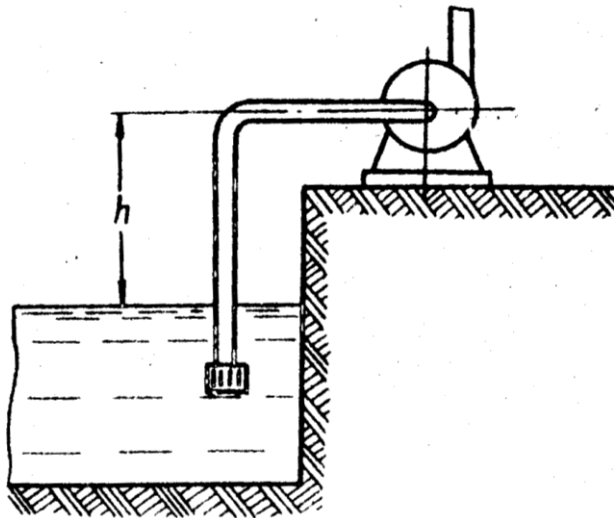


Рис. 5.2.

Розв'язання. Вибраємо два перетини: 1-1 по осі насоса й 0-0 – по лінії вільної поверхні води. Перетин 0-0 збігається із площиною порівняння. Рівняння Бернуллі для перетинів 0-0 і 1-1 буде мати вигляд;

$$z_0 + \frac{P_0}{\rho g} + \frac{V_0^2}{2g} = z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + h_{0-1}.$$

У перетині 0-0 швидкість $V_0 \approx 0$ тому швидкісний напір.

$$\frac{V_0^2}{2g} = 0.$$

Тиск на вільній поверхні дорівнює атмосферному $P_0 = P_{\text{атм}}$, тоді п'єзометричний напір:

$$\frac{P_0}{\rho g} = \frac{P_a}{\rho g}.$$

Площина порівняння співпадає з перетином 0-0, тому:

$$z_0 = 0.$$

Абсолютний тиск у перетині 1-1:

$$P_1 = P_a - P_b.$$

Тоді

$$\frac{P_1}{\rho g} = \frac{P_a}{\rho g} - \frac{P_b}{\rho g}.$$

Висота розташування осі насоса над рівнем води у вододжерелі Z_1 визначиться з рівняння:

$$z_1 = \frac{P_b}{\rho g} - \frac{V_1^2}{2g} - h_{0-1}.$$

Швидкість руху води у всмоктувальній трубці:

$$V_1 = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 30 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,15^2} = 1,7 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Швидкісний напір:

$$\frac{V_1^2}{2g} = \frac{1,7^2}{2 \cdot 9,81} = 0,15 \text{ м}.$$

Вакууметрична висота

$$\frac{P_b}{\rho g} = \frac{6,5 \cdot 10^4}{1000 \cdot 9,81} = 6,62 \text{ м}.$$

Тоді:

$$z_1 = 6,62 - 0,15 - 1 = 5,47 \text{ м}.$$

Відповідь: $Z_1 = 5,47 \text{ м}$.

5.2. Визначити, з якої максимальної висоти відцентровий насос пожежного автомобіля може забрати воду з водойми, якщо подача насоса 35 л/с, діаметр всмоктувального рукава 150 мм, втрати напору у всмоктувальному рукаві 1,3 м. Вакууметричний тиск у всмоктувальному патрубку $8 \cdot 10^4$ Па.

Відповідь: $Z = 6,65 \text{ м}$.

5.3. Визначити розрідження у вакуумній камері стаціонарного пінозмішувача ПЗ-5 пожежного насоса ПН-40У, що має вхідний перетин діаметром 30 мм і вихідний діаметром 16,3 мм (рис. 5.3). Витрата води 6 л/с, напір на пінозмішувачі 45 м.

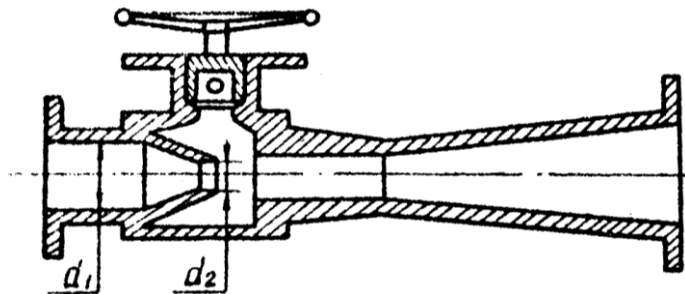


Рис. 5.3.

Відповідь: $h_b = 2,96$ м.

5.4. Визначити витрату води через сопло пінозмішувача ПЗ-5, що має вхідний перетин діаметром 30 мм і вихідний (сопло) діаметром 16,3 мм (рис. 5.3). Величина вакууму становить 3,5 м. Тиск перед пінозмішувачем $4 \cdot 10^{-5}$ Па.

Відповідь: $Q = 5,68$ л/с

5.5. Манометр, що встановлений на стволі-вodomірі, показує тиск 3,8 атм (рис. 2.4). Діаметр насадка 25 мм. Визначити швидкість і витрату води. Втратами напору знехтувати.

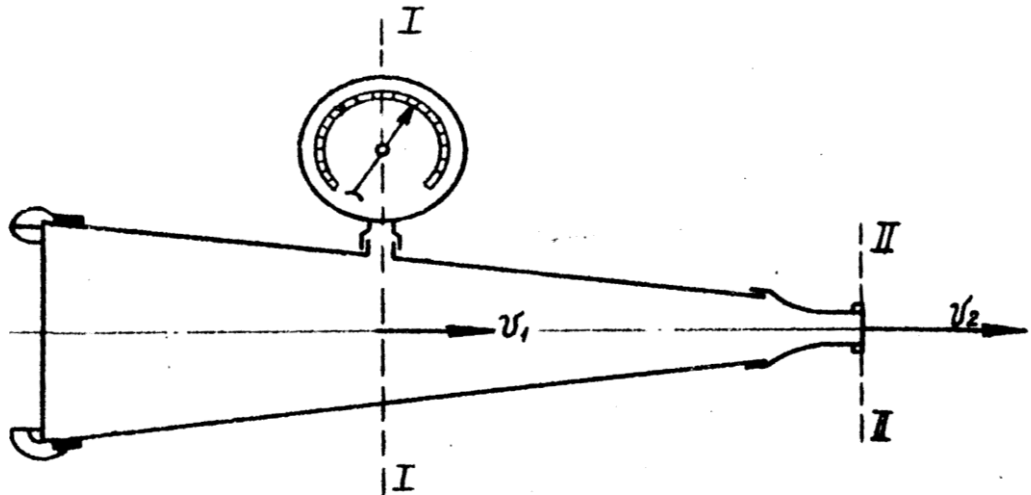


Рис. 2.4.

Відповідь: $V = 27,3$ м/с; $Q = 13,4$ л/с.

5.6. Визначити необхідний надлишковий тиск на стволі перед насадком діаметром 19 мм, щоб швидкість на виході з насадка склала 30 м/с.

Відповідь: $p = 4,5 \cdot 10^5$ Па.

5.7. Визначити швидкість виходу води з насадка пожежного ствола при напорі 35 м, якщо при напорі 30 м швидкість становить 25 м/с.

Відповідь: $V = 27$ м/с.

5.8. Під час випробування внутрішнього пожежного кран-комплекта на водовіддачу використовувалася трубка Піто (рис. 2.5). Манометр, встановлений на трубці Піто, показав тиск 3 атм. Визначити, нехтуючи втратами напору, швидкість струменя й витрату через насадок діаметром 16 мм.

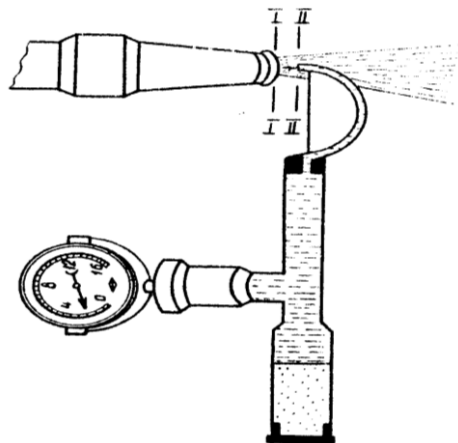


Рис. 2.5.

Відповідь: $V = 24,26$ м/с; $Q = 4,88$ л/с.

5.9. Порівняти швидкість струменя й витрату води зі стволів з насадками 13 мм і 16 мм, якщо манометр, установлений на трубці Піто, показав однаковий тиск 2,5 атм.

Відповідь: $V_1 = V_2 = 22,14$ м/с; $Q_1 = 2,94$ л/с; $Q_2 = 4,43$ л/с.

5.10. Визначити, на яку висоту h зможе піднятися вода з резервуара по трубці, приєднаній до вузького перетину трубопроводу діаметром 50 мм (рис. 2.6), якщо витрата води в трубопроводі 10 л/с. Діаметр трубопроводу 100 мм. Надлишковий напір перед звуженням 0,6 м. Втратами напору знехтувати.

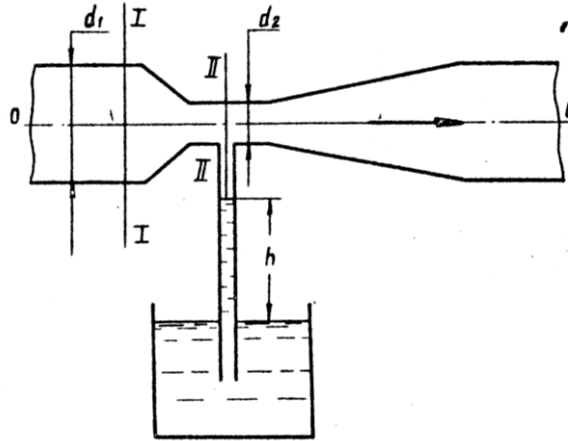


Рис. 2.6.

Відповідь: $h = 0,64$ м.

5.11. Визначити витрату води в трубопроводі діаметром 200 мм, що має звуження, 50 мм (рис. 2.6), щоб забезпечити підйом води з резервуара на висоту 3,1 м. Надлишковий тиск перед звуженням 12 кПа. Втратами напору знехтувати.

Відповідь: $Q = 20$ л/с.

Глава III. Рух рідини по трубах і пожежних рукавах.

Найважливішим завданням будь-яких розрахунків є визначення втрат напору на подолання гідравлічних опорів, які визначаються як сума всіх втрат напору по довжині окремих послідовних ділянок трубопроводу h_ℓ і всіх місцевих втрат напору h_m :

$$h = \sum h_\ell + \sum h_m. \quad (6.1)$$

§ 6. Лінійні й місцеві втрати напору.

Втрати напору по довжині трубопроводу за рівномірного усталеного руху рідини можуть бути визначені за формулою Дарсі-Вейсбаха:

$$h_\ell = \lambda \frac{\ell V^2}{d 2g}, \quad (6.2)$$

де h_ℓ – втрати напору по довжині трубопроводу, що вимірюються в метрах стовпа рідини, яка протікає по трубопроводу;

λ – коефіцієнт гідравлічного тертя;

ℓ – довжина трубопроводу, м;

d – діаметр труби, м;

V – середня швидкість руху рідини, м/с.

За умови усталеного рівномірного руху рідини в трубах і рукавах, коефіцієнт гідравлічного тертя в більшості випадків не залежить від числа Рейнольдса.

У цих випадках лінійні втрати напору можна визначити за спрощеними формулами:

$$h_\ell = A\ell Q^2, \quad (6.3)$$

де h_ℓ – втрати напору по довжині трубопроводу, м;

A – питомий опір, втрати напору на 1 м довжини;

ℓ – довжина трубопроводу, м;

Q – витрата рідини, м³/с.

Значення питомих опорів A наведено в додатку 6. У довідниках наводиться значення питомих опорів для витрати Q , вираженої в л/с і м³/с.

Враховуючи, що $A\ell = S$ формулу (6.3) можна записати:

$$h_\ell = SQ^2, \quad (6.4)$$

де S – опір ділянки довжиною ℓ (значення опорів для чавунних труб наведено в додатку 7);

Q – витрата рідини, л/с.

За швидкостей руху рідини менших 1,2 м/с необхідно ввести поправочний коефіцієнт K_n , значення якого наведено в додатку 8. Швидкість руху води в трубах може бути приблизно визначено за додатком 9. Формули (6.3) і (6.4) можуть бути записані у вигляді:

$$h_{\ell} = K_n A \ell Q^2 = K_n S Q^2. \quad (6.5)$$

Втрати напору в пожежних рукавах зручніше визначати через опір одного стандартного рукава довжиною 20 м.

$$h_p = n S p Q^2, \quad (6.6)$$

де h_p – втрати напору в рукавній лінії, м;

n – число рукавів у лінії;

S_p – опір одного стандартного рукава довжиною 20 м (значення S_p наведено в додатку 10);

Q – витрата води по рукавній лінії, л/с.

Місцеві втрати напору можна визначити за формулою Вейсбаха:

$$h_m = \zeta \frac{V^2}{2g}, \quad (6.7)$$

де ζ – коефіцієнт місцевого опору.

В деяких випадках втрати напору у місцевих опорах визначаються за формулою:

$$h_m = S Q^2, \quad (6.8)$$

де S – опір, значення якого для гідрантів, колонок і водомірів наведено в додатку 11 і 12.

Задачі.

6.1. Визначити коефіцієнт гідравлічного тертя, якщо в процесі випробування водопроводу на ділянці довжиною 800 м, що складається із труб діаметром 250 мм, втрати напору склали 5 м. Витрата води склала 45 л/с.

Розв'язання. Коефіцієнт гідравлічного тертя можна визначити з рівняння Дарсі-Вейсбаха:

$$\lambda = \frac{2gdh_{\ell}}{lV^2}.$$

Швидкість руху води:

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 45 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,25^2} = 0,917 \text{ м/с.}$$

Тоді:

$$\lambda = \frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,25 \cdot 5}{800 \cdot 0,917^2} = 0,0364.$$

Відповідь: $\lambda = 0,0364$.

6.2. Визначити втрати напору в трубопроводі діаметром 100 мм і довжиною 300 м за умови пропускання води під час пожежі. Витрата води становить 15 л/с, коефіцієнт гідравлічного тертя 0,04.

Відповідь: $h_{\ell} = 22,3$ м.

6.3. У разі випробування зовнішньої водопровідної мережі на водовіддачу втрати напору на ділянці довжиною 300 м склали 2,5 м, діаметр труб 200 мм. Визначити коефіцієнт гідравлічного тертя, якщо витрата води по ділянці склала 30 л/с.

Відповідь: $\lambda = 0,0392$.

6.4. Визначити максимальну витрату води по ділянці трубопроводу діаметром 125 мм і довжиною 400 м, щоб втрати напору не перевищували 15 м. Коефіцієнт гідравлічного тертя $\lambda = 0,025$.

Розв'язання. З рівняння Дарсі-Вейсбаха визначимо швидкість руху рідини, за якої втрати напору не перевищать допустимої величини:

$$V = \sqrt{\frac{2gh_l d}{\lambda l}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 15 \cdot 0,125}{0,25 \cdot 400}} = 1,92 \text{ м/с.}$$

З рівняння нерозривності потоку визначаємо:

$$Q = V\omega = V \frac{\pi d^2}{4} = \frac{1,92 \cdot 3,14 \cdot 0,125^2}{4} = 23,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с.}$$

Відповідь: $Q = 23,5 \text{ л/с}$.

6.5. Визначити максимально допустиму швидкість руху води по ділянці трубопроводу довжиною 500 м і діаметром 100 мм, щоб втрати напору не перевищували 40 м. Яка при цьому буде витрата води, якщо коефіцієнт гідравлічного тертя $\lambda = 0,035$.

Відповідь: $V = 2,12 \text{ м/с}$; $Q = 16,6 \text{ л/с}$.

6.6. Визначити падіння тиску в технологічному трубопроводі діаметром 200 мм і довжиною 1000 м, по якому перекачується нафта густиною $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$, витрата нафти $Q = 30 \text{ л/с}$. Коефіцієнт гідравлічного тертя $\lambda = 0,04$.

Відповідь: $\Delta P = 82,15 \text{ кПа}$.

6.7. Для збереження пожежного запасу води в резервуарі, всмоктувальна лінія обладнана повітряною трубкою, верхній зріз якої перебуває на рівні пожежного запасу в резервуарі (рис. 6.1). Передбачається, що за умови зниження рівня води до пожежного запасу повітря, внаслідок виникнення вакууму в перетині, до якого приварена трубка, проникне у всмоктувальний трубопровід насосів, відбудеться зрив роботи насоса й забір води припиниться. Визначити, чи збережеться недоторканий запас води, якщо рівень води перебуває на висоті 2,5 м вище осі всмоктувальної труби. Діаметр труби 150 мм, витрата води 30 л/с. Труба обладнана всмоктувальною сіткою із клапаном ($\zeta = 6,0$) і має коліно ($\zeta = 0,5$).

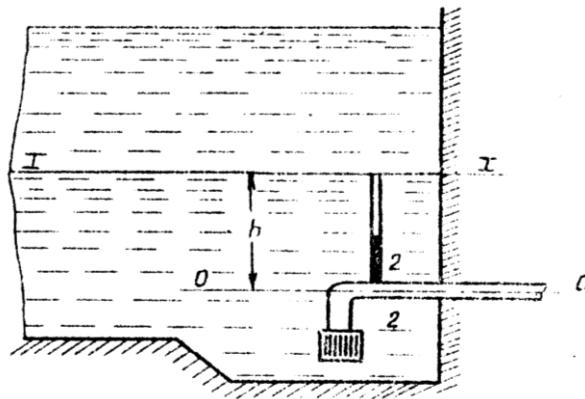


Рис. 6.1.

Розв'язання. Вибираємо два перетини, які будемо порівнювати за допомогою рівняння Бернуллі:

I – I – по рівню недоторканого запасу води,

II – II – по осі всмоктувальної труби.

Площина порівняння 0-0 проходить по осі всмоктувального трубопроводу.

Рівняння Бернуллі буде мати вигляд:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + h_m,$$

де $z_1 = 2,5$ м;

$P_1/\rho g = 0$ (надлишковий тиск у перетині I-I);

$V_1^2/2g = 0$ (швидкість зниження рівня в перетині I-I мала в порівнянні з іншими величинами, тому і рівна нулю);

h_m – втрати на місцеві опори; лінійними втратами на ділянці від перетину I-I до перетину II-II можна знехтувати.

Рівняння Бернуллі буде мати вигляд:

$$\frac{P_2}{\rho g} = z_1 - \frac{V_2^2}{2g} - h_m.$$

Швидкість руху води в перетині II-II:

$$V_2 = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 30 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,15^2} = 1,7 \text{ м/с.}$$

Швидкісний напір:

$$\frac{V_2^2}{2g} = \frac{1,7^2}{2 \cdot 9,81} = 0,15 \text{ м.}$$

Місцеві втрати напору:

$$h_m = (\zeta_1 + \zeta_2) \frac{V_2^2}{2g} = (6,0 + 0,5) \cdot 0,15 = 0,98 \text{ м.}$$

Тоді:

$$\frac{P_2}{\rho g} = 2,5 - 0,5 - 0,98 = 1,37 \text{ м.}$$

Тиск у перетині II-II становить 1,37 м. Недоторканий запас води буде витрачений.

Відповідь: недоторканий запас води не збережеться.

6.8. Визначити величину надлишкового тиску у всмоктувальній трубці насоса, якщо діаметр труби 125 мм, витрата води 30 л/с. Чи збережеться недоторканий запас води? Інші вихідні дані наведено в задачі 6.7.

Відповідь: $P = 21,6$ кПа; недоторканий запас не збережеться.

6.9. Визначити максимальну висоту розташування насоса над рівнем води у вододжерелі (рис. 6.2), якщо насос пожежного водопроводу забирає воду в кількості 120 л/с. Діаметр всмоктувальної труби 350 мм ($\lambda = 0,02$) за довжини 40 м. Труба обладнана всмоктувальною сіткою зі зворотним клапаном ($\zeta=10$), має 3 коліна ($\zeta=0,5$).

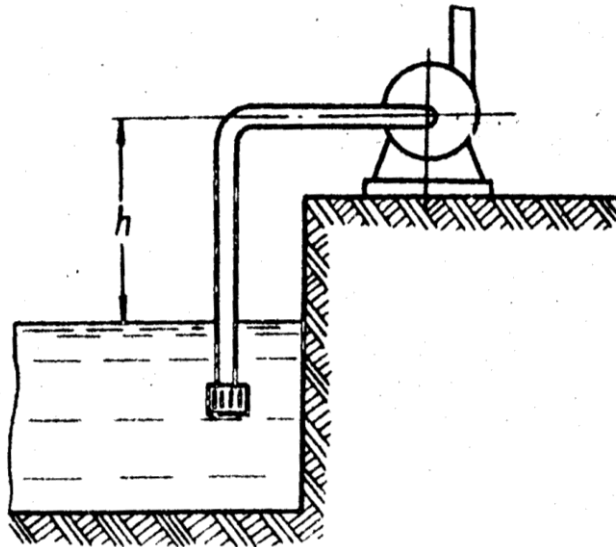


Рис. 6.2.

Величина вакууму у всмоктувальній порожнині насоса становить 6 м.

Відповідь: $z = 4,43$ м.

6.10. Визначити втрати напору на ділянці зовнішньої водопровідної мережі довжиною 400 м, що виходить із чавунних труб діаметром 150 мм в процесі пропуску води під час пожежі в кількості 35 л/с.

Розв'язання. Середня швидкість води на ділянці:

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 35 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,15^2} = 1,98 \text{ м/с.}$$

Швидкість перевищує 1,2 м/с, втрати напору на ділянці визначаються за формулою (6.3):

$$h_l = AlQ^2$$

Питомий опір чавунної труби діаметром 150 мм за додатком 6 становить:

$$A = 37,11 \text{ (для витрати } Q \text{ у м}^3\text{/с).}$$

Тоді

$$h_l = 37,11 \cdot 400 \cdot 0,035^2 = 18,18 \text{ м.}$$

Відповідь: $h_\ell = 18,18$ м.

6.11. Визначити втрати напору на ділянці довжиною 280 м зовнішньої водопровідної мережі, із чавунних труб діаметром 200 мм за умови пропуску води 30 л/с. Втрати напору визначити за спрощеними формулами.

Відповідь: $h_\ell = 2,11$ м.

6.12. Визначити втрати напору в рукавній лінії довжиною 180 м із прогумованих рукавів, діаметром 66 мм, витрата води по рукавній лінії 12 л/с.

Відповідь: $h_p = 44,06$ м.

§ 7. Гідравлічний удар.

Гідравлічним ударом називається підвищення або зниження тиску в напірному трубопроводі, яке викликане зміною в часі середньої швидкості руху рідини. Гідравлічний удар обумовлюється інерцією тієї маси рідини, що знаходиться в трубопроводі, швидкість якої змінюється.

Гідравлічний удар виникає за умови закриття пожежної арматури, включенні й вимиканні насосів, у разі перелому пожежних рукавів, що може привести до розриву трубопроводів, рукавів, несправності насосів.

Найважливішими характеристиками гідравлічного удару є: швидкість поширення ударної хвилі, фаза гідравлічного удару й підвищення тиску.

Для наближених розрахунків швидкість поширення ударної хвилі можна приймати за таблицею 7.1.

Таблиця 7.1. Швидкість поширення ударної хвилі

Матеріал	Швидкість поширення ударної хвилі, с, м/с
Сталь і чавун	1200
Азбестоцемент	700
Рукави прогумовані	300
Рукави не прогумовані (нові)	120
Рукави не прогумовані (старі)	80

Фаза гідравлічного удару t_{ϕ} – час, який необхідно для подолання ударною хвилею подвоєної довжини водоводу.

$$t_{\phi} = \frac{2l}{c} \quad (7.1)$$

де t_{ϕ} – фаза удару, с;

l – довжина водоводу, м.

Розрізняють повний або прямий і неповний або непрямий гідравлічні удари.

Якщо час закриття крана або засувки t_3 менше фази удару t_{ϕ} , то виникає прямий удар.

$$t_3 < t_{\phi}. \quad (7.2)$$

Якщо час закриття засувки більший фази удару – непрямий удар.

$$t_3 > t_{\phi}. \quad (7.3)$$

Величина підвищення тиску за умови прямого гідравлічного удару визначається за формулою:

$$\Delta P = a\rho V, \quad (7.4)$$

де ΔP – величина підвищення тиску, Па;

V – середня швидкість руху рідини в трубопроводі до закриття засувки, м/с.

Величина підвищення тиску за непрямого гідравлічного удару

$$\Delta P = a\rho V \frac{t_{\phi}}{t_3} \quad (7.5)$$

Задачі.

7.1. Визначити підвищення тиску в чавунному трубопроводі перед засувкою після миттєвого автоматичного відключення водонапірної вежі під час пожежі. Витрата води по трубопроводу становить 40 л/с, діаметр трубопроводу 150 мм, швидкість поширення ударної хвилі 1070 м/с.

Розв'язання. Швидкість руху до закриття засувки:

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 40 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,15^2} = 2,26 \text{ м/с.}$$

Підвищення тиску за умови прямого гідравлічного удару:

$$\Delta P = a\rho V = 1000 \cdot 1070 \cdot 2,26 = 2,418 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Відповідь: $\Delta P = 2,418 \text{ МПа.}$

7.2. Визначити час закриття засувки, щоб підвищення тиску в трубопроводі було в 2 рази менше, чим за умови миттєвого закриття. Швидкість поширення ударної хвилі 1000 м/с, довжина трубопроводу 1000 м.

Відповідь: $t_3 = 4 \text{ с.}$

7.3. Визначити час закриття засувки, щоб підвищення тиску в сталевому трубопроводі довжиною 700 м і діаметром 200 мм не перевищувало $9 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Витрата вода становить 60 л/с. Швидкість поширення ударної хвилі 1180 м/с.

Відповідь: $t_3 = 3 \text{ с.}$

7.4. Визначити час закриття засувки, щоб підвищення тиску в чавунному трубопроводі довжиною 500 м не перевищувало $6 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Витрата води по трубопроводу діаметром 150 мм становить 30 л/с.

Відповідь: $t_3 = 2,83 \text{ с.}$

7.5. Визначити збільшення тиску в рукавній лінії довжиною 200 м у разі перелому рукава. Витрата води по рукавній лінії діаметром 66 мм становить 10 л/с. Швидкість поширення ударної хвилі 300 м/с.

Відповідь: $\Delta P = 8,77 \cdot 10^5 \text{ Па.}$

7.6. Як зміниться збільшення тиску в рукавній лінії у випадку прямого гідравлічного удару, якщо витрата вода зменшиться в 2 рази?

Відповідь: зменшиться в 2 рази.

7.7. Визначити збільшення тиску в рукавній лінії діаметром 51 мм в наслідок миттєвого закриття крана, якщо витрата води становить 3,4 л/с. Швидкість поширення ударної хвилі 120 м/с.

Відповідь: $\Delta P = 2 \cdot 10^5 \text{ Па.}$

7.8. Визначити величину надлишкового тиску за гідравлічного удару на початку магістральної рукавної лінії довжиною 300 м, із прогумованих рукавів діаметром 77 мм при витраті води в 15 л/с. Час перекивання води становить 5 с. Швидкість поширення ударної хвилі 300 м/с. Напір на початку рукавної лінії становить 70 м.

Розв'язання. Швидкість руху води в рукавній лінії до гідравлічного удару

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 15 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,077^2} = 3,22 \text{ м/с.}$$

Фаза гідравлічного удару:

$$t_{\phi} = \frac{2l}{a} = \frac{2 \cdot 300}{300} = 2 \text{ с.}$$

Так як $t_3 > t_{\phi}$, то удар непряий.

Збільшення тиску за умови непрямого гідравлічного удару:

$$\Delta P = \rho a V \frac{t_{\phi}}{t_3} = 1000 \cdot 300 \cdot 3,22 \cdot \frac{2}{5} = 3,86 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Надлишковий тиск на початку рукавної лінії:

$$P_0 = 70 \cdot 9,81 \cdot 10^3 = 6,87 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Надлишковий тиск на початку рукавної лінії у разі гідравлічного удару:

$$P = P_0 + \Delta P = 6,87 \cdot 10^5 + 3,86 \cdot 10^5 = 10,73 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

Відповідь: $P = 10,73 \cdot 10^5 \text{ Па.}$

7.9. Визначити величину надлишкового тиску у випадку прямого гідравлічного удару на початку робочої рукавної лінії довжиною 60 Н, із прогумованих рукавів діаметром 51 мм, за витрати води в 4 л/с. Швидкість поширення ударної хвилі 300 м/с, тиск біля розгалуження становить $4 \cdot 10^5 \text{ Па.}$

Відповідь: $P = 9,88 \cdot 10^5 \text{ Па.}$

7.10. На сталевому трубопроводі діаметром 200 мм встановлена засувка, час закриття якої 8,2 с. Визначити підвищення тиску в трубопроводі довжиною 5 км, якщо витрата води по трубопроводу становить 53 л/с. Швидкість поширення ударної хвилі 1300 м/с.

Відповідь: $\Delta P = 13,59 \cdot 10^5 \text{ Па.}$

7.11. Визначити напругу в стінці товщиною 10,5 мм сталевій труби діаметром 200 мм за прямого гідравлічного удару, якщо до удару вода рухалася зі швидкістю 1,2 м/с. Швидкість поширення ударної хвилі 1200 м/с. Початковий тиск перед засувкою $6 \cdot 10^5 \text{ Па.}$

Відповідь: $\zeta = 19,5 \text{ МПа.}$

Глава IV. Витікання рідини через отвори й насадки. Пожежні струмені.

§ 8. Витікання рідини через отвори й насадки.

Основними величинами, що характеризують витікання рідини через отвори й насадки, є: швидкість у стислому перетині, витрата рідини, напір, під дією якого відбувається витікання.

Швидкість витікання рідини V через отвори й насадки визначається за формулою:

$$V = \varphi \sqrt{2gH_o}, \quad (8.1)$$

де $H_o = H \frac{P_o}{\rho g}$ – напір, за якого відбувається витікання. Якщо $P_o = P_a$ то $H_o = H$.

φ – коефіцієнт швидкості, який враховує місцеві втрати напору в насадці.

Витрата рідини при витіканні визначається з виразу:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH_o}, \quad (8.2)$$

де μ – коефіцієнт витрати, що враховує втрати напору й ступінь стиснення струменя.

Значення коефіцієнтів місцевого опору, стиснення, швидкості й витрати для насадків різної форми наведено в додатку 13.

У практиці пожежної справи часто використовуються спрощені вирази для визначення Q і H_o .

$$Q = p\sqrt{H}, \quad (8.3)$$

де p – провідність насадка;

$$H_o = S_H Q^2, \quad (8.4)$$

де S_H – опір насадка.

Значення опорів і провідностей насадків наведено в додатку 14.

Час спорожнення або наповнення резервуара за постійного напору можна визначити за формулою:

$$t = \frac{W}{Q}, \quad (8.5)$$

де t – час спорожнення, с;

W – об'єм резервуара, м³;

Q – витрата рідини за умови витікання, м³/с.

Час повного спорожнення резервуара у разі змінного напору

$$t = \frac{2W}{Q}, \quad (8.6)$$

де W – початковий об'єм резервуара, м³;

Q – витрата рідини за початкового напору, м³/с.

Задачі.

8.1. Визначити швидкість і витрату води, що витікає із отвору діаметром 35 мм під тиском $3 \cdot 10^5$ Па. Коефіцієнт швидкості $\varphi = 0,97$, коефіцієнт витрати $\mu = 0,62$.

Відповідь: $V = 23,76$ м/с, $Q = 14,6$ л/с.

8.2. Визначити напір перед насадком діаметром 13 мм, необхідний для одержання струменя з витратою 2,5 л/с.

Відповідь: $H = 18,06$ м.

8.3. Визначити напір перед насадком діаметром 50 мм, необхідний для одержання струменя з витратою 60 л/с.

Відповідь: $H = 47,52$ м.

8.4. Визначити напір на внутрішньому пожежному кран-комплекті діаметром 50 мм, обладнаного не прогумованим рукавом довжиною 20 м і стволом з насадком діаметром 13 мм, необхідний для одержання струменя з витратою 3 л/с.

Розв'язання. Необхідний напір на пожежному кран-комплекті визначається як сума втрат напору в рукаві й напору в насадці:

$$H = h_p + H_B$$

Втрати напору в не прогумованому рукаві:

$$h_p = nS_p Q^2 = 1 \cdot 0,24 \cdot 3^2 = 2,16 \text{ м.}$$

Напір перед насадком:

$$H_B = S_H Q^2 = 2,89 \cdot 3^2 = 26,01 \text{ м.}$$

Тоді:

$$H = 2,16 + 26,01 = 28,17 \text{ м.}$$

Відповідь: $H = 28,17$ м.

8.5. Визначити необхідний напір на внутрішньому пожежному кран-комплекті висотного будинку діаметром 65 мм, обладнаного не прогумованим рукавом довжиною 20 м і стволом з насадком діаметром 19 мм. Витрата води становить 5 л/с.

Відповідь: $H = 17,78$ м.

8.6. Визначити можливу витрату води від пожежного кран-комплекту діаметром 50 мм, обладнаного не прогумованим рукавом довжиною 20 м і стволом з насадком діаметром 16 мм, якщо гарантований напір на пожежному кран-комплекті становить 20 м.

Відповідь: $Q = 3,65$ л/с.

8.7. Визначити можливу витрату води від пожежного кран-комплекту діаметром 65 мм, обладнаного не прогумованим рукавом довжиною 20 м і стволом з насадком діаметром 19 мм, якщо гарантований надлишковий тиск у баку гідропневматичної установки $4,2 \cdot 10^5$ Па. Пожежний кран-комплект розташовано на висоті 20 м щодо рівня бака пневматичної установки, втрати напору у внутрішній мережі 5 м.

Відповідь: $Q = 5$ л/с.

8.8. Визначити, за якого гарантованого напору в зовнішній водогінній мережі на введенні в будинку буде забезпечена витрата 2,8 л/с від пожежного кран-комплекту діаметром 50 мм. Пожежний кран-комплект обладнаний не прогумованим рукавом довжиною 20 м і стволом з насадком діаметром 16 мм, розташовано на висоті 25 м. Втрати напору у внутрішній мережі 6 м.

Розв'язання. Гарантований напір у зовнішній водогінній мережі повинен забезпечити підйом води до пожежного крана-комплекту, подолання втрат

напору у внутрішній мережі та у рукаві, створення необхідного напору перед насадком:

$$H = z + h_p + H_B.$$

Втрати напору в рукаві:

$$h_p = nS_p Q^2 = 1 \cdot 0,24 \cdot 2,8^2 = 1,88 \text{ м.}$$

Необхідний напір перед насадком:

$$H_B = S_H Q^2 = 1,26 \cdot 2,8^2 = 9,88 \text{ м.}$$

Тоді:

$$H = 25,0 + 6 + 1,88 + 9,88 = 42,76 \text{ м.}$$

Відповідь: $H = 42,76 \text{ м.}$

8.9. Протипожежне водопостачання висотних будинків передбачає живлення пожежних кран-комплектів від водонапірних баків до включення пожежних насосів. Визначити мінімальну висоту розташування водонапірного бака до найближчого пожежного кран-комплекту діаметром 65 мм, обладнаного не прогумованим рукавом довжиною 20 м і стволом з насадком 19 мм, щоб забезпечити початкову витрату 3,5 л/с. Втрати напору у внутрішній мережі до найближчого пожежного кран-комплекту 1 м.

Відповідь: $H = 9,71 \text{ м.}$

8.10. Визначити мінімальний напір на пожежному насосі, що забезпечує роботу внутрішніх пожежних кран-комплектів театрального будинку, якщо самий віддалений пожежний кран-комплект діаметром 65 мм розташовано на висоті 20 м і обладнаний не прогумованим рукавом довжиною 10 м і стволом з насадком діаметром 19 мм. Продуктивність струменя 6,3 л/с. Втрати напору у внутрішній мережі 7 м.

Відповідь: $H = 53,6 \text{ м.}$

8.11. Визначити необхідний напір на гідранті пожежного водопроводу високого тиску. Висота найвищого будинку підприємства, на дах якого підняті стволи з насадками діаметром 19 мм, становить 25 м. Подача води від колонки, встановленої на гідрант, здійснюється по не прогумованій рукавній лінії діаметром 66 мм і довжиною 120 м. Витрата води зі ствола повинна бути не менше 5 л/с.

Відповідь: $H = 52,4 \text{ м.}$

8.12. Підібрати стандартний насадок для ствола внутрішнього пожежного кран-комплекту, якщо необхідно одержати витрату не меншу 3 л/с. Гарантований напір перед насадком становить 15 м. Коефіцієнт витрати $\mu = 0,98$. Визначити дійсну витрату для обраного насадка.

Відповідь: $d = 16 \text{ мм}; Q = 3,45 \text{ л/с.}$

8.13. Циліндричний резервуар діаметром 4 м і висотою 6 м має в дні отвір діаметром 100 мм. Визначити час повного спорожнювання резервуара, якщо коефіцієнт витрати отвору, $\mu = 0,62$.

Відповідь: $t = 47,54 \text{ хв.}$

§ 9. Вертикальні й похилі струмені. Реакція струменя.

Вільним струменем називають потік рідини, що не обмежений твердими стінками. Розрізняють затоплені вільні струмені – що оточені рідиною, і незатоплені струмені – що оточені газом.

Пожежні струмені поділяються на суцільні, що отримують від ручних і лафетних стволів, і розпилені, утворені від спеціальних насадків-розпилювачів.

Звичайно, суцільний незатоплений струмінь може бути розбитий на три характерні частини: компактну, частково роздроблену й розпилену.

Висота вертикального суцільного струменя, представлена на рис. 9.1, визначається за формулою Люгера:

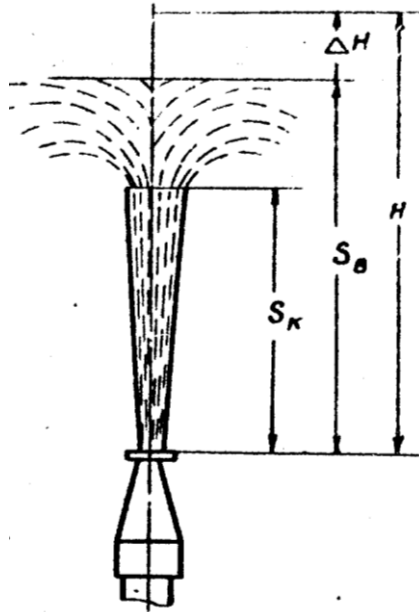


Рис. 9.1.

$$H_B = \frac{H}{1 + \varphi H}, \quad (9.1)$$

або за формулою Фрімана:

$$H_B = H \left(1 - 1,13 \cdot 10^{-4} \frac{H}{d} \right), \quad (9.2)$$

де H – напір перед насадком, м;

d – діаметр насадка, м.

Коефіцієнт φ знаходиться за емпіричною формулою:

$$\varphi = \frac{0,25}{d + (0,1d)^3}, \quad (9.3)$$

де d – діаметр вихідного перерізу насадка, м.

Величину компактної частини струменя для насадків діаметром до 28 мм визначають як частину всього вертикального струменя:

$$H_K = f H_B, \quad (9.4)$$

де f – коефіцієнт, що залежить від висоти вертикального струменя.

Величина компактної частини похилих струменів R_K , які одержують з ручних стволів з діаметром насадка не більше 25 мм, приймається рівній висоті компактної частини вертикального струменя:

$$R_k = H_k. \quad (9.5)$$

Радіус дії роздробленого струменя R_p залежно від висоти вертикального струменя визначається за формулою:

$$R_p = R, \quad (9.6)$$

де β – коефіцієнт.

Значення коефіцієнта β залежно від кута нахилу струменя до горизонту α наведено в табл. 9.1.

Таблиця 9.1. Значення коефіцієнта β залежно від кута нахилу струменя до горизонту α .

α	0	15	30	45	60	75	90
β	1,4	1,3	1,2	1,12	1,07	1,03	1,00

У додатках 15 і 16 наведені залежності між радіусом дії компактного струменя, діаметром насадка, напором і витратою рідини для ручних і лафетних стволів.

Мінімальна довжина компактних струменів ручних стволів, що використовуються для гасіння зовнішніх пожеж, повинна становити не менше 17 м.

Реакцією струменя називається сила, що виникає за умови витікання рідини з насадка. Ця сила спрямована у бік, зворотній руху струменя. Величину реакції струменя можна визначити за рівнянням:

$$F = -2\rho\omega, \quad (9.7)$$

де F – реакція струменя, н;

ρ – тиск рідини перед насадком, Па;

ω – площа вихідного перерізу, м².

Задачі.

9.1. Визначити висоту вертикального суцільного струменя, якщо вода виходить через насадок діаметром 19 мм за напору 30 м.

Розв'язання. Висота вертикального суцільного струменя за формулою Люгера:

$$H_B = \frac{H}{1+\varphi H},$$

$$\text{Коефіцієнт } \varphi = \frac{0,25}{d+(0,1)^3}$$

$$\varphi = \frac{0,25}{19+(0,1 \cdot 19)^3} = 9,67 \cdot 10^{-3}.$$

Тоді:

$$H_B = \frac{30}{1+9,67 \cdot 10^{-3} \cdot 30} = 23,25 \text{ м.}$$

Відповідь: $H_B = 23,25$ м.

9.2. Визначити напір, необхідний для одержання вертикального суцільного струменя висотою 20 м. Діаметр насадка 16 мм.

Відповідь: $H = 26,62$ м.

9.3. Вода виходить із насадка діаметром 19 мм, вертикальний струмінь висотою 25 м. Визначити радіус дії компактної частини струменя й витрату води.

Відповідь: $R_k = 19,2$ м; $Q = 7,2$ л/с.

9.4. Визначити необхідний напір на внутрішньому пожежному кран-комплекті виробничого будинку для одержання компактного струменя $R_k = 14$ м. Пожежний кран-комплект обладнаний не прогумованим рукавом довжиною 20 м і діаметром 51 мм, діаметр насадка 13 мм.

Відповідь: $H = 25,4$ м.

9.5. Визначити необхідний напір на внутрішньому пожежному кран-комплекті висотного будинку для одержання компактного струменя $R_k = 18$ м. Пожежний кран-комплект обладнаний не прогумованим рукавом довжиною 20 м і діаметром 66 мм, діаметр насадка 19 мм.

Відповідь: $H = 32,9$ м.

9.6. Підібрати стандартний насадок для внутрішнього пожежного кран-комплекту виробничого будинку, якщо радіус компактної частини струменя 10 м за витрати не менше 2,5 л/с. Визначити напір перед насадком ствола й дійсну витрату.

Відповідь: $d = 16$ мм; $H_{св} = 14,1$ м; $Q = 3,3$ л/с.

9.7. Визначити реакцію струменя, що витікає з насадка діаметром 25 мм, при напорі 30 м.

Розв'язок. Реакція струменя визначається за рівнянням:

$$F = -2P\omega$$

Тиск рідини перед насадком:

$$P = \rho g H = 1000 \cdot 9,81 \cdot 30 = 294,3 \cdot 10^3 \text{ Па.}$$

Площа вихідного перерізу насадка:

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,025^2}{4} = 4,906 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Тоді:

$$F = -2 \cdot 294,3 \cdot 10^3 \cdot 4,906 \cdot 10^{-4} = -288,8 \text{ Н.}$$

Відповідь: $F = 288,8$ Н.

9.8. Визначити реакцію струменя, що витікає з насадка лафетного ствола діаметром 63 мм при напорі 50 м.

Відповідь: $F = -3056$ Н.

9.9. Як зміниться реакція струменя, якщо діаметр насадка збільшити в 2 рази?

Відповідь: Реакція збільшиться в 4 рази.

9.10. Визначити максимально допустимий діаметр насадка, щоб реакція струменя не перевищувала 1500 Н при напорі перед насадком 50 м. Визначити дійсну реакцію для обраного стандартного насадка.

Відповідь: $Q = 38$ мм; $F = -1446$ Н.

Глава V. Розрахунки насосно-рукавних систем.

Насосно-рукавною системою називається сукупність насоса, і рукавних ліній, обладнаних відповідними стволами.

У практиці пожежогасіння використовуються різні види насосно-рукавних систем, вибір яких залежить від характеристик вододжерела, характеру розвитку пожежі, основних робочих параметрів насоса й інших показників.

§ 10. Основні робочі параметри насосів.

Основними робочими параметрами відцентрових насосів, які забезпечують подачу води до місця пожежі є: подача Q , напір H , потужність N , к.к.д. η , висота всмоктування $H_{вс}$, частота обертання n .

Подачею насоса називається об'єм рідини, що перекачується в одиницю часу. Подача насоса вимірюється в $\text{м}^3/\text{с}$, $\text{л}/\text{с}$.

Напором насоса називається різниця повних питомих енергій потоку при виході й вході в насос, обчислена в метрах стовпа рідини, що перекачується.

Напір насоса H може бути визначений за показниками приладів:

$$H = H_0 + \frac{P_B + P_M}{\rho g} + \frac{V_M^2 - V_{BC}^2}{2g}, \quad (10.1)$$

де H_0 – відстань по вертикалі між рівнями установки вакуумметра й манометра, м;

P_B – показник вакуумметра, Па;

P_M – показник манометра, Па;

V_M, V_{BC} – швидкість рідини в напірному й всмоктувальному трубопроводах, м/с;

ρ – густина рідини, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Є другий спосіб визначення напору насоса за елементами насосної установки:

$$H = H_\Gamma + h_{вс} + h_H + H_B, \quad (10.2)$$

де H_Γ – геометрична висота підйому рідини, м;

$h_{вс}, h_H$ – втрати напору у всмоктувальному й напірному трубопроводах, м;

H_B – вільний напір, м.

Потужність насоса N – робота, що виконується насосом за одиницю часу, вимірюється у Вт.

Ефективна (корисна) потужність:

$$N_n = NHQ. \quad (10.3)$$

Повний к.к.д. насоса η , що враховує об'ємні, гідравлічні й механічні втрати, дорівнює відношенню ефективної потужності N_n насоса до споживаної ним потужності від двигуна N .

$$\eta = \frac{N_n}{N}. \quad (10.4)$$

Потужність електродвигуна для привода насоса

$$N_D = k \frac{N}{\eta \eta_n} = k \frac{\rho g H Q}{\eta \eta_n}, \quad (10.5)$$

де k – коефіцієнт запасу потужності;

η_n – к.к.д. передачі.

Для відцентрових насосів повний к.к.д. рівний 0,6-0,9.

Геометрична висота всмоктування $H_{вс}$ може бути визначена за формулою:

$$H_{вс} = H_B - \frac{v_{вс}^2}{2g} - h_{вс}, \quad (10.6)$$

де H_B – вакууметрична висота всмоктування, характеризує ступінь розрідження на входу в насос, задається в каталогах, м.

$\frac{v_{вс}^2}{2g}$ – швидкісний напір, м;

$H_{вс}$ – втрати напору у всмоктувальному трубопроводі, м.

Частота обертання n – кількість обертів валу насоса за одиницю часу, 1/с.

За умови зміни частоти обертання валу насоса від n_1 до n_2 змінюються основні робочі параметри:

$$\text{Подача:} \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (10.7)$$

$$\text{Напір:} \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \quad (10.8)$$

$$\text{Потужність:} \quad \frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 \quad (10.9)$$

Задачі.

10.1. Визначити потужність, споживану відцентровим насосом ПН-60, якщо його подача $Q = 0,06 \text{ м}^3/\text{с}$, повний напір $H = 100 \text{ м}$, повний к.к.д. $\eta = 0,6$.

Розв'язання. Потужність, споживана насосом, визначається з формули (10.4)

$$N = \frac{Nn}{\eta} = \frac{\rho g H Q}{\eta}.$$

Тоді:

$$N = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 100 \cdot 0,06}{0,6} = 98,1 \text{ кВт.}$$

Відповідь: $N = 98,1 \text{ кВт.}$

10.2. Визначити повний напір насосної установки, якщо подача насоса 110 л/с, діаметр всмоктувального патрубку 200 мм, діаметр напірного патрубку насоса 100 мм, показання манометра $5 \cdot 10^5 \text{ Па}$, показання вакуумметра $0,3 \cdot 10^5 \text{ Па}$, відстань (по вертикалі) між точками вимірів тиску й розрідження 450 мм.

Відповідь: $H = 63,7 \text{ м.}$

10.3. Визначити повний напір, що створює відцентровий насос, якщо розрідження по вакууметру $7,33 \cdot 10^4 \text{ Па}$, геометрична висота нагнітання 40 м, втрати в напірній лінії 20 м.

Відповідь: $H = 67,5 \text{ м.}$

10.4. Для подачі 20 л/с води з напором 10 м відцентровий насос споживає 2 кВт потужності. Визначити, як зміниться подача, напір і споживана потужність, якщо насос замінили на подібний, але робоче колесо обертається з подвоєною частотою.

Розв'язання. Параметри насоса за умови зміни частоти обертання визначаються з формул (10.7), (10.8), (10.9).

Подача:

$$Q_2 = Q_1 \frac{n_2}{n_1} = 20 \cdot 2 = 40 \text{ л/с.}$$

Напір:

$$H_2 = H_1 \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 = 10 \cdot 2^2 = 40 \text{ м.}$$

Потужність:

$$N_2 = N_1 \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 = 2 \cdot 2^3 = 16 \text{ кВт.}$$

Відповідь: $Q = 40$ л/с; $H = 40$ м; $N = 16$ кВт.

10.5. Визначити напір відцентрового насоса, якщо манометр на напірному патрубку показує тиск 10 кг/см^2 , а вакуометр на всмоктувальному патрубку $0,5 \text{ кгс/см}^2$. Відстань по вертикалі між точками установки приладів $0,5$ м. Діаметри напірного та всмоктувального патрубків рівні між собою.

Відповідь: $H = 105,5$ м.

10.6. Визначити потужність на валу відцентрового насоса, якщо подача відцентрового насоса 30 л/с, показник манометра $0,9 \text{ кгс/см}^2$, вакуометра 550 мм рт.ст., відстань по вертикалі між точками установки приладів $0,35$ м, діаметри напірного та всмоктувального патрубків однакові, к.к.д. насоса $0,65$.

Відповідь: $N = 30,3$ кВт.

10.7. Подача відцентрового насоса $400 \text{ м}^3/\text{год}$ при напорі 65 м, частота обертання $15,6$ 1/с, повний к.к.д. насосної установки $0,75$. Визначити потужність, частоту обертання й напір насоса для того, щоб підвищити подачу до $560 \text{ м}^3/\text{год}$.

Відповідь: $N = 259,2$ кВт; $n = 21,8$ 1/с; $H = 127,4$ м.

§ 11. Визначення необхідного напору насоса на початку рукавних систем у разі послідовного, паралельного й змішаного з'єднання елементів.

Необхідний напір повинен забезпечити подолання опорів у рукавній системі, підйом води на висоту й створення робочих пожежних струменів. Необхідний напір визначається за рівнянням:

$$H_H = S_{\text{сист}} Q^2 + Z, \quad (11.1)$$

де H_H – необхідний напір, м;

$S_{\text{сист}}$ – опір системи рукавних ліній;

Q – загальна витрата води, л/с;

Z – висота підйому стволів над віссю насоса, м.

У разі послідовного з'єднання елементів, опір системи визначається за формулою:

$$S_{\text{сист}} = S_1 + S_2 + \dots + S_n. \quad (11.2)$$

У разі паралельного з'єднання k однакових ділянок:

$$S_{\text{сист}} = \frac{S_1}{k^2}. \quad (11.3)$$

У разі змішаного з'єднання елементів:

$$S_{\text{сист}} = S_M + S_{\text{р.л.}} \quad (11.4)$$

де S_M – опір магістральної лінії;

$S_{\text{р.л.}}$ – опір паралельних робочих ліній.

Опір окремої робочої лінії із приєднаним стволом:

$$S_{\text{р.л.}} = S_p n + S_n, \quad (11.5)$$

де S_p – опір одного рукава;

n – кількість рукавів у робочій лінії;

S_n – опір ствола, для розрахунків обирається таким, як і опір насадка.

Необхідний напір можна визначити як суму втрат напору в окремих елементах рукавної системи:

$$H_H = h_p + H_B + Z, \quad (11.6)$$

де h_p – втрати напору в рукавній системі, м;

H_B – вільний напір на стволі, м;

Z – висота підйому стволів над віссю насоса, м.

У разі послідовного з'єднання елементів (рис. 11.1):

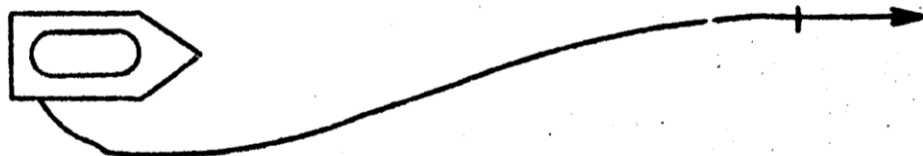


Рис. 11.1.

$$H_H = H Q^2 + S_H Q^2 + Q. \quad (11.7)$$

У випадку паралельного з'єднання елементів (рис.11.2):

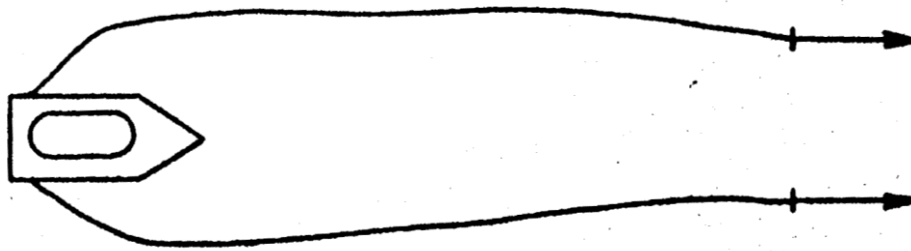


Рис. 11.2.

$$H_H = Hq^2 + S_H q^2 + Z, \quad (11.8)$$

де q – витрата по одній з рукавних ліній, л/с.

У випадку змішаного з'єднання елементів (рис. 11.3).

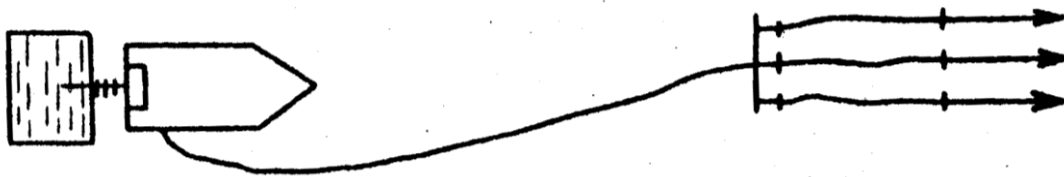


Рис. 11.3.

$$H_H = n_M S_p^M Q^2 + n_p S_p^p q^2 + S_H q^2 + Z, \quad (11.9)$$

де S_p^M і S_p^p – опір одного стандартного рукава магістральної і робочої ліній;

n_M і n_p – кількість рукавів у магістральній і одній з робочих ліній;

q – витрата води по одній (кожній) робочій лінії, л/с.

$Qq_1 + q_2 + q_3$ – витрата води по магістральній лінії, л/с.

У формулі (11.9) параметри S_p^p , n_p , q , S_H беруться для однієї й тієї ж (будь-якої) робочої лінії.

Задачі.

11.1. Визначити необхідний напір насоса для одержання робочого пожежного струменя, якщо вода до місця пожежі подається по рукавній системі, що складається з магістральної лінії довжиною 180 м і діаметром 77 мм та робочої лінії довжиною 40 м і діаметром 51 мм (рис. 11.4). Діаметр насадка – 16 мм. Висота підйому ствола – 12 м, рукави прогумовані.



Рис. 11.4.

Розв'язання. Необхідний напір насоса

$$H_H = S_{\text{сист}} Q^2 + Z.$$

Опір системи:

$$S_{\text{сист}} = S_p^M n_M + S_p^p n_p + S_H = 0,015 \cdot 9 + 0,13 \cdot 2 + 1,26 = 1,655.$$

За додатком 15 $Q = 4,8$ л/с.

Тоді,

$$H_H = 1.655 \cdot 4.8^2 + 12 = 50.13 \text{ м.}$$

Відповідь: $H_H = 50,13 \text{ м.}$

11.2. Визначити втрати напору у двох паралельних рукавних лініях, що підводять воду до лафетного ствола (рис. 11.5) у кількості 30 л/с, довжина рукавної лінії – 120 м, діаметр – 77 мм, рукави прогумовані.

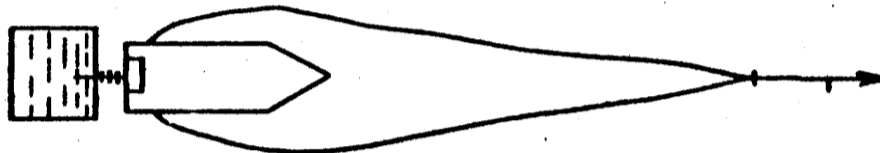


Рис. 11.5.

Відповідь: $h_p = 20,25 \text{ м.}$

11.3. Визначити необхідний напір автонасоса для одержання робочих пожежних струменів у разі подачі води до місця пожежі по рукавній системі, що складається з магістральної лінії довжиною 200 м, діаметром 66 мм і трьох робочих ліній по 40 м і діаметром 51 мм кожна (рис. 11.3). Діаметр насадків – 13 мм, висота підйому стволів – 8 м, рукави прогумовані.

Розв'язання. Необхідний напір у випадку змішаного з'єднання визначається за наступною формулою:

$$H_H = S_p^M n_M Q^2 + S_n^p n_p q^2 + S_H q^2 + Z.$$

Витрата води по одній робочій лінії: $q = 3,4 \text{ л/с.}$

Витрата води по магістральній лінії визначається як сума витрат по робочих лініях:

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 = 3q = 3 \cdot 3,4 = 10,2 \text{ л/с.}$$

Кількість рукавів у магістральній і робочій лініях:

$$n_M = \frac{200}{20} = 10, \quad n_p = \frac{40}{20} = 2.$$

Тоді,

$$H_H = 0,034 \cdot 10 \cdot 10,2^2 + 0,13 \cdot 2 \cdot 3,4^2 + 2,89 \cdot 3,4^2 + 8 = 79,8 \text{ м.}$$

Відповідь: $H_H = 79,8 \text{ м.}$

11.4. Визначити радіус дії компактного струменя й подачу насоса, якщо вода до місця пожежі подається по двох паралельних рукавних лініях довжиною 200 м і діаметром 77 мм кожна (рис. 11.2). Діаметр насадків – 19 мм, напір насоса – 80 м. Висота підйому стволів 15 м, рукави прогумовані.

Відповідь: $R_K = 24 \text{ м; } Q = 18,2 \text{ л/с.}$

11.5. Для гасіння пожежі на торф'яному масиві від автонасосів прокладено дві магістральні лінії довжиною 200 м і діаметром 66 мм кожна (рис. 11.6). На 1 магістральній лінії є ствол з насадком діаметром 22 мм. На 2-ій магістральній лінії встановлене розгалуження, від якого прокладено три робочі лінії: перша й третя довжиною 40 м і діаметром 51 мм, діаметри насадків – 13 мм, друга – довжиною 40 м і діаметром 66 мм, діаметр насадка – 19 мм, рукави прогумовані. Визначити подачу й напір автонасоса, якщо друга робоча лінія забезпечує компактний струмінь радіусом дії 17 м.

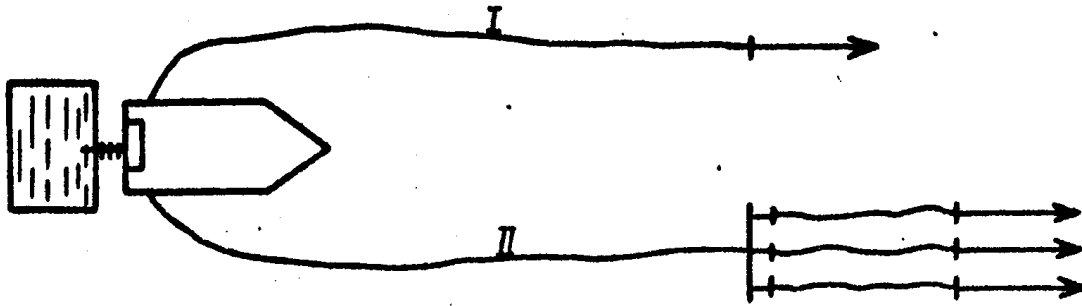


Рис. 11.6.

Відповідь: $Q = 25,37$ л/с; $H_H = 99,0$ м.

11.6. Визначити напір і подачу насоса, якщо перша рукавна лінія довжиною 100 м і діаметром 66 мм (рис. 11.2) повинна забезпечити витрату 6,5 л/с через насадок діаметром 19 мм на висоті 42 м. Друга рукавна лінія довжиною 60 м подає воду на висоту 39 м, діаметр насадка – 19 мм, рукави прогумовані. Діаметр рукавів другої лінії – 66 мм.

Відповідь: $H_H = 75,97$ м; $Q = 13,6$ л/с.

11.7. Визначити напір насоса, необхідний для одержання робочих пожежних струменів з радіусом компактної частини не менше 17 м. Рукавна система складається з магістральної лінії довжиною 100 м і діаметром 89 мм та трьох робочих ліній (рис. 11.3). Основні параметри робочих ліній:

Довжина: $l_1 = 60$ м; $l_2 = 80$ м; $l_3 = 60$ м;

Діаметр рукавів: $d_1 = 51$ мм; $d_2 = 66$ мм; $d_3 = 81$ мм;

Діаметр насадок: $d_{H1} = 13$ мм; $d_{H2} = 19$ мм; $d_{H3} = 16$ мм;

Висота підйому стволів: $z_1 = 32$ м; $z_2 = 36$ м; $z_3 = 32$ м, рукави прогумовані.

Відповідь: $H_H = 74,22$ м.

11.8. Для гасіння пожежі на торфопідприємстві введено в дію один ствол з насадком діаметром 19 мм і чотири стволи з насадками 13 мм (рис. 11.7). Довжина рукавних ліній: $l_1 = 100$ м; $l_2 = 140$ м; $l_3 = 200$ м; $l_4 = l_5 = 40$ м; $l_6 = l_7 = 60$ м, рукавних ліній: $d_1 = d_2 = d_3 = 66$ мм; $d_4 = d_5 = d_6 = d_7 = 51$ мм; рукави прогумовані. Радіус дії компактної частини струменя через насадок діаметром 19 мм становить 10 м. Визначити подачу напорного автонасоса.

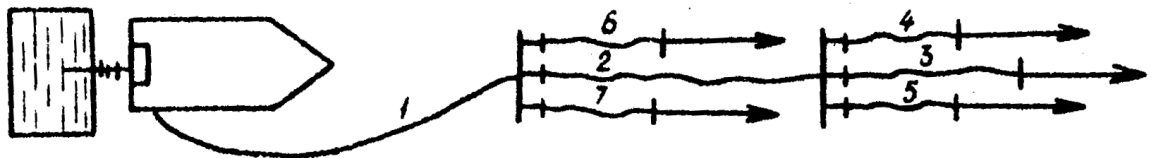


Рис. 11.7.

Відповідь: $Q = 16,96$ л/с; $H_H = 92$ м.

11.9. Визначити гранично можливу довжину прогумованої рукавної лінії діаметром 66 мм, якщо через насадок діаметром 22 мм необхідно одержати робочий струмінь. Тиск насоса – $7 \cdot 10^5$ Па, висота підйому ствола – 15 м.

Відповідь: $l = 240$ м.

11.10. Пожежна водойма об'ємом 500 м³ заповнюється по двох паралельних рукавних лініях (рис. 11.8) довжиною 240 м кожна. Діаметр

однієї лінії – 66 мм, другої – 77 мм, рукави прогумовані. Визначити час заповнення водойми, розташованої на 14 м вище осі насоса. Напір насоса 60 м.

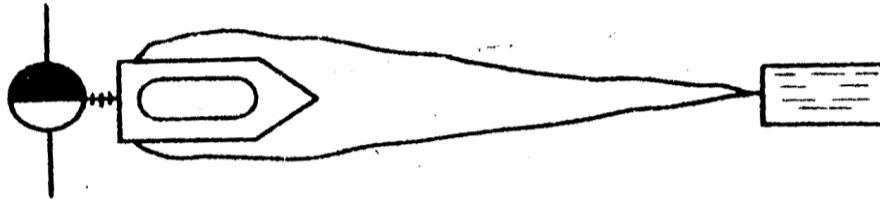


Рис. 11.8.

Відповідь: $t = 5,22$ години.

11.11. Визначити максимальну висоту підйому стволів, якщо вода від автонасоса подається до місця пожежі по рукавній системі, що складається з магістральної лінії довжиною 100 м, діаметром 66 мм і трьох робочих ліній довжиною 60 м і діаметром 51 мм кожна (рис. 11.3). Діаметр насадків – 13 мм, напір насоса – 90 м, рукави прогумовані. Струмені робочі.

Відповідь: $z = 34,4$ м.

11.12. Визначити необхідний напір насоса й час роботи автоцистерни АЦ-40(131) з ємністю цистерни для води 2300 л для одержання робочих пожежних струменів у разі подачі води до місця пожежі по рукавній системі, що складається з магістральної лінії довжиною 160 м, діаметром 77 мм і робочої лінії довжиною 40 м, діаметром 66 мм, рукави системи прогумовані, діаметр сприску – 16 мм. Висота підйому ствола – 8 м.

Відповідь: $H_H = 41,36$ м; $t = 8$ хв.

11.13. Визначити необхідний напір насоса й час повного спорожнення цистерни для води ємністю 4000 л пожежної автоцистерни АЦ-40(375Н) для одержання пожежних струменів з радіусом дії компактної частини 20 м, якщо подача води до місця пожежі здійснюється по рукавній системі, що складається з магістральної лінії довжиною 220 м, діаметром 89 мм і трьох робочих ліній довжиною 40 м, діаметром 66 мм кожна. Рукави системи прогумовані, діаметр насадків – 16 мм, висота підйому стволів – 6 м.

Відповідь: $H_H = 60,19$ м; $t = 3,97$ хв.

§ 12. Спільна робота насосів і рукавних систем.

Під час визначення витрати води насосно-рукавної системи враховують характеристику рукавної системи й робочий режим насоса. Завдання про спільну роботу насосів і рукавних систем можуть бути вирішені графічно й аналітично. Аналітичний спосіб розрахунків полягає в спільному розв'язанні двох рівнянь:

- рівняння, що характеризує роботу насоса, у разі граничного режиму роботи двигуна (можливий напір):

$$H_p = a - bQ^2, \quad (12.1)$$

де a, b – параметри, що характеризують тип насоса, наведено в додатку 17.

- рівняння, що характеризує роботу рукавної системи (необхідний напір):

$$H_H = S_{\text{сист}}Q^2 + Z. \quad (12.2)$$

Обов'язковою умовою для нормальної роботи насосно-рукавної системи є те, щоб необхідний напір для одержання робочих пожежних струменів H_H не перевищував можливого напору H_p . Прирівнюючи праві частини рівнянь (12.1) і (12.2), знайдемо величину максимальної витрати:

$$Q = \sqrt{\frac{a-z}{S_{\text{сист}}+b}}. \quad (12.3)$$

У випадку графічного способу розрахунків у рівняннях 12.1 і 12.2 підставляють довільні витрати, визначають напори й знаходять відповідні їм точки на осях координат (рис. 12.1).

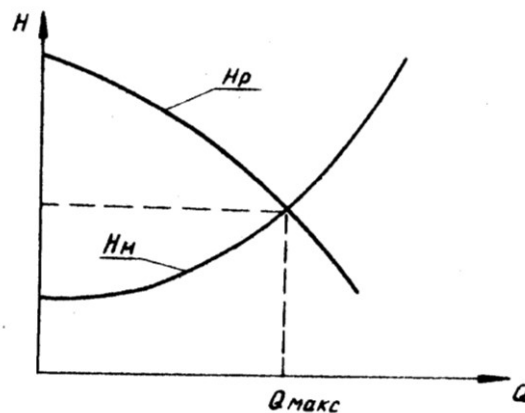


Рис. 12.1.

Точка перетину характеристик B , називається робочою точкою та визначає граничну витрату води й напір насоса для цієї насосно-рукавної системи.

Максимальна кількість рукавів у магістральній лінії визначається за формулою:

$$n = \frac{a - bQ^2 - n_p S_p^p q^2 - S_H q^2 - z}{S_p^m Q^2}. \quad (12.4)$$

Враховуючи рельєф місцевості, число рукавів на ділянці 1 визначають із коефіцієнтом запасу 1,2:

$$n = \frac{1,2l}{20}. \quad (12.5)$$

Задачі.

12.1. Визначити витрата й напір насоса, якщо вода до місця пожежі подається автонасосом АН-30 (130) по двох магістральних лініях довжиною 300 м, діаметром 66 мм кожна й шести робочих лініях довжиною 60 м, діаметром 51 мм кожна (рис. 12.2).

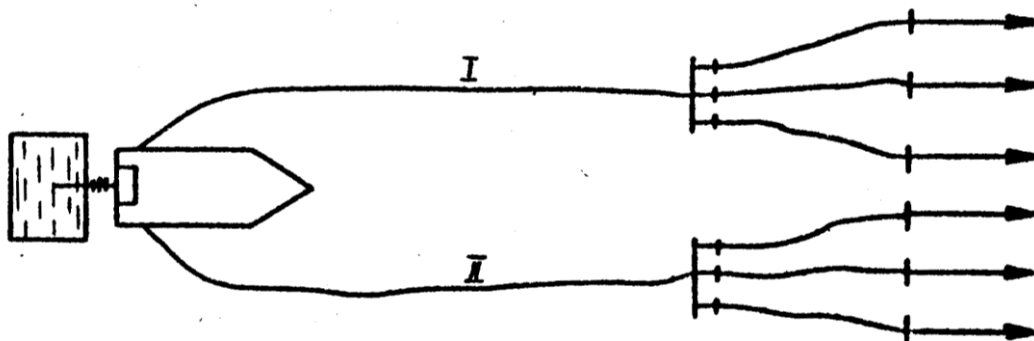


Рис. 12.2.

Вода подається по прогумованих рукавах через насадки діаметром 13 мм. Стволи підняті на висоту 10 м.

Розв'язання. Витрата насоса визначається за формулою:

$$Q = \sqrt{\frac{a - z}{S_{\text{с-ми}} + b}}$$

де $a = 110,6$; $b = 0,0104$ (за додатком 17).

Опір однієї лінії:

$$S_I = S_P^M n_M + \frac{S_P^p n + S_H}{k^2} = 0,034 \cdot 15 + \frac{0,13 \cdot 3 + 2,89}{3^2} = 0,874.$$

Опір системи:

$$S_{\text{с-ми}} = \frac{S_I}{k^2} = \frac{0,874}{2^2} = 0,2186.$$

Тоді,

$$Q = \sqrt{\frac{110,6 - 10}{0,217} + 0,0104} = 20,96 \text{ л/с.}$$

Значення можливого напору на насосі визначаємо за формулою:

$$H_P = a - bQ^2 = 110,6 - 0,0104 \cdot 20,96^2 = 106,0 \text{ м.}$$

Відповідь: $Q = 21,0$ л/с; $H = 106,0$ м.

12.2. Визначити графічним способом витрату й напір насоса, якщо вода до місця пожежі подається автонасосом АН-30 (130) по магістральній лінії довжиною 120 м, діаметром 77 мм і двома робочими лініями довжиною 40 м, діаметром 51 мм кожна через стволи з насадками діаметром 16 мм (рис. 12.3). Рукави системи прогумовані.



Рис. 12.3.

Відповідь: $Q = 15,2$ л/с; $H = 108,2$ м.

12.3. Визначити робочу точку насоса, встановленого на пожежному автомобілі АЦ-30 (130), що подає воду до місця пожежі, (рис. 12.4), якщо магістральна лінія прокладена з 6 рукавів діаметром 77 мм, а робочі лінії мають довжину 80 м кожна, діаметри: $d_1 = d_3 = 51$ мм, $d_2 = 66$ мм; діаметри насадків: $d_{H1} = d_{H3} = 13$ мм; $d_{H2} = 19$ мм. Рукави системи прогумовані. Стволи підняті на висоту 12 м.

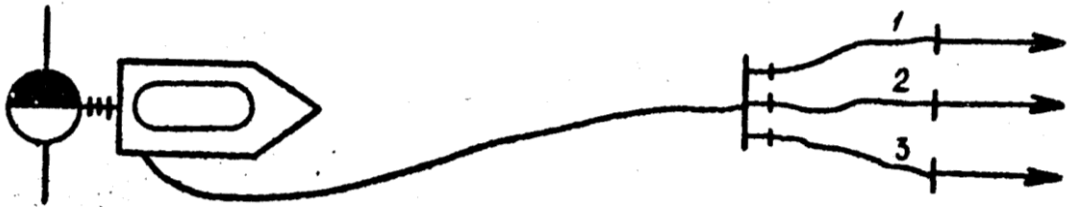


Рис. 12.5.

Відповідь: робоча точка задається параметрами: $Q = 21,55$ л/с; $H = 105,77$ м.

12.4. Визначити час заповнення пожежної водойми об'ємом 100 м³, якщо вода від пожежної мотопомпи М-1400 подається по двох прогумованих рукавних лініях довжиною 400 м кожна й діаметрами відповідно 51 і 66 мм. Водойма розташована вище осі насоса на 5 метрів (рис. 12.6), витікання води з рукавів вільне.



Рис. 12.6.

Відповідь: $t = 94,6$ хв.

12.5. Визначити гранично можливу довжину магістральної лінії (рис. 12.6), якщо із другого ствола необхідно струмінь продуктивністю 4,8 л/с. Рукавна система складається з магістральної лінії діаметром 77 мм і трьох робочих ліній, що мають довжину відповідно: $l_1 = 40$ м, $l_2 = 60$ м, $l_3 = 80$ м; діаметри: $d_1 = d_3 = 51$ мм, $d_2 = 66$ мм; і стволами діаметром насадків: $d_{H1} = d_{H3} = 13$ мм, $d_{H2} = 16$ мм. Стволи підняті відносно розгалуження на висоту: $Z_1 = 3$ м,

$Z_2 = 6$ м, $Z_3 = 9$ м, а розгалуження відносно осі насоса пожежного автомобіля АНР-40 (130) розташоване на висоті 2 м. Рукави системи прогумовані.

Розв'язання. Напір біля розгалуження визначимо з умов роботи другого ствола:

$$H_{\text{розг}} = (S_{P2}n_{P2} + S_{H2})q_2^2 + Z_2 = (0,034 \cdot 3 + 1,26) \cdot 4,8^2 + 6 = 37,38 \text{ м.}$$

Оскільки втрати напору в паралельних робочих лініях однакові, то будуть слушні вирази:

- для першої робочої лінії:

$$H_{\text{розг}} = (S_{P1}n_{P1} + S_{H1})q_1^2 + Z_1,$$

- для третьої робочої лінії:

$$H_{\text{розг}} = (S_{P3}n_{P3} + S_{H3})q_3^2 + Z_3.$$

Звідки знаходимо:

$$q_1 = \sqrt{\frac{H_{\text{розг}} - Z_1}{S_{P1}n_{P1} + S_{H1}}} = \sqrt{\frac{37,38 - 9}{0,13 \cdot 2 + 2,89}} = 3,3 \frac{\text{л}}{\text{с}};$$

$$q_3 = \sqrt{\frac{H_{\text{розг}} - Z_3}{S_{P3}n_{P3} + S_{H3}}} = \sqrt{\frac{37,38 - 9}{0,13 \cdot 4 + 2,89}} = 2,88 \frac{\text{л}}{\text{с}}.$$

Витрата води по магістральній лінії:

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 = 3,3 + 4,8 + 2,88 = 10,98 \text{ л/с.}$$

Оскільки визначається гранично можлива довжина магістральної лінії, тобто під час роботи насоса з максимальною частотою обертання, то необхідно використовувати характеристику насоса.

При цьому: $H_P = H_H$,

де $H_P = 110,6 - 0,0098 Q^2$ – характеристика насоса ПН-40 У;

$H_H = S_P^M n_M Q^2 + H_{\text{розг}} + Z_{\text{розг}}$ – характеристика рукавної лінії.

Прирівнявши праві частини характеристик

$$110,6 - 0,0098 Q^2 = S_P^M n_M Q^2 + H_{\text{розг}} + Z_{\text{розг}},$$

знайдемо число рукавів у магістральній лінії:

$$n_M = \frac{110,6 - 0,0098 Q^2 + H_{\text{розг}} + Z_{\text{розг}}}{S_P^M Q^2} =$$

$$= \frac{110,6 - 0,0098 \cdot 10,98^2 - 37,38 - 2}{0,015 \cdot 10,98^2} = 39.$$

Відповідь: $n = 39$ рукавів.

12.6. Визначити гранично можливу довжину магістральної лінії під час подачі води від пожежної мотопомпи Н-800 (рис. 12.6), якщо діаметр магістральної лінії 77 мм, на робочій лінії довжиною 60 м і діаметром 66 мм є ствол з насадком діаметром 22 мм. Ствол піднятий відносно розгалуження на висоту 4 м, а розгалуження встановлене відносно осі насоса на висоті 2 м, рукави системи прогумовані.

Відповідь: $n = 16$ рукавів.

§ 13. Послідовна робота насосів під час подачі води перекачуванням та паралельна робота насосів на лафетні стволи.

Кількість пожежних насосів K , необхідних для подачі води до місця пожежі з урахуванням головного автонасоса, можна визначити за формулою:

$$K = \frac{S_{\text{сист}}Q^2 + Z}{\alpha(a - bQ^2) - H_{\text{зал}}} + 1, \quad (13.1)$$

де $S_{\text{сист}}$ – опір системи рукавних ліній від першого до головного насоса;

Z – різниця висотних відміток вододжерела й головного насоса;

$H_{\text{зал}} = 10$ м – залишковий напір;

$\alpha = 0,75$ – коефіцієнт режиму роботи насоса.

Кількість автонасосів для перекачування води може бути також визначена залежно від загальної відстані між вододжерелом, місцем пожежі L і граничної відстані між сусідніми автонасосами l :

$$K = \frac{L}{l} + 1. \quad (13.2)$$

Граничне число рукавів n , прокладених між сусідніми автонасосами, для перекачування по одній рукавній лінії:

$$n = \frac{\alpha(a - bQ^2) - H_{\text{ост}} - \Delta Z}{S_P Q^2}, \quad (13.3)$$

де ΔZ – різниця висотного положення між сусідніми автонасосами, м.

У разі перекачування по двох паралельних рукавних лініях гранична відстань між сусідніми автонасосами може бути збільшена в 4 рази.

У випадку, якщо головний автонасос перебуває на граничній відстані від місця пожежі, кількість автонасосів для перекачування може бути визначена за рівнянням:

$$K = \frac{L - l_{\text{гр.}}}{l} + 1, \quad (13.4)$$

де $l_{\text{гр.}}$ – гранична відстань від головного автонасоса до місця пожежі, м.

У разі гасіння великих пожеж виникає необхідність подачі великої кількості води потужними струменями від лафетних стволів. На рис. 13.1 наведені основні схеми подачі води до лафетних стволів. Необхідний напір насоса може бути визначений за формулою:

$$H = S_{\text{сист}}(KQ_H)^2 + Z, \quad (13.5)$$

де H – задана величина напору або характеристика насоса, м;

K – кількість насосів;

Q_H – подача насоса, л/с;

Z – різниця висотного положення насоса й ствола.

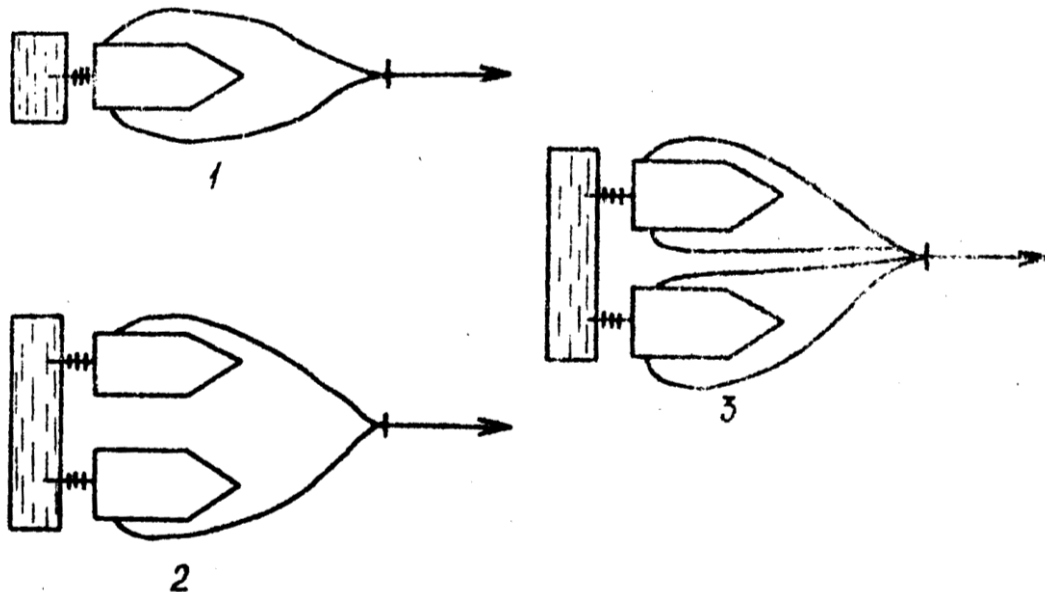


Рис. 13.1.
Задачі.

13.1. Визначити кількість автонасосів для перекачування, якщо відстань від вододжерела до місця пожежі становить 1200 м. Напір насосів з урахуванням коефіцієнта режиму роботи – 80 м. Головний автонасос розташований біля місця пожежі. Гасіння пожежі здійснюється через 3 стволи з насадками діаметром 13 мм, струмені – робочі. Для перекачування води використовуються прогумовані рукави діаметром 66 мм. Місцевість рівна.

Розв’язання. Кількість рукавів у лінії перекачування:

$$n = \frac{1,2L}{20} = \frac{1,2 \cdot 1200}{20} = 72.$$

Опір системи:

$$S_{\text{сист}} = 0,034 \cdot 72 = 2,448.$$

Витрата води по лінії перекачування:

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 = 3 \cdot 3,4 = 10,2 \text{ л/с}.$$

Кількість автонасосів:

$$K = \frac{2,448 - 10,2^2}{80 - 10} + 1 = 5.$$

Відповідь: $K = 5$.

13.2. З умови задачі 13.1 визначити кількість автонасосів при перекачуванні, якщо головний автонасос здійснює подачу води через 2 стволи з насадками діаметром 16 мм.

Відповідь: $K = 5$.

13.2. Визначити кількість автонасосів АНР-40 (130) для перекачування 15 л/с води на відстань 1000 м. Перекачування здійснюється по двох прогумованих рукавних лініях діаметром 66 мм. Перевищення головного автонасоса, встановленого біля місця пожежі, над вододжерелом 12 м. Режим роботи насосів $\alpha = 1$.

Відповідь: $K = 3$.

13.3. За умовою задачі 13.2 визначити кількість автонасосів АНР-40 (130), якщо перекачування здійснюється по одній прогумованій рукавній лінії діаметром 66 мм. Насоси працюють у режимі: $\alpha = 0,75$.

Відповідь: $K = 7$.

13.4. Визначити кількість автонасосів АН-30 (130), що забезпечують подачу води до місця пожежі на відстань 1000 м. Перекачування проводиться по одній прогумованій рукавній лінії діаметром 77 мм. Головний автонасос, який розташований біля місця пожежі, забезпечує роботу двох стволів з насадками діаметром 19 мм і двох – з насадками діаметром 13 мм. Місцевість рівна. Режим роботи насосів граничний.

Відповідь: $K = 5$.

13.5. Визначити кількість автонасосів АН-30 (130) для подачі води до місця пожежі на відстань 800 м. Головний автонасос, що віддалений на граничну відстань від місця пожежі, забезпечує роботу 3-х стволів з насадками: $d_{H1} = d_{H3} = 16$ мм і $d_{H2} = 22$ мм.

Радіус компактної частини струменя другого ствола – 20 м. Робочі лінії довжиною 40 м кожна, діаметри рукавів першої й третьої лінії – 51 мм, другої – 77 мм. Магістральна лінія прокладена з рукавів діаметром 77 мм (рис. 13.2). Висота розташування стволів над віссю головного насоса – 4 м. Різниця висотних відміток між головним автонасосом і вододжерелом – 20 м. Рукави прогумовані. Насоси працюють у граничному режимі.

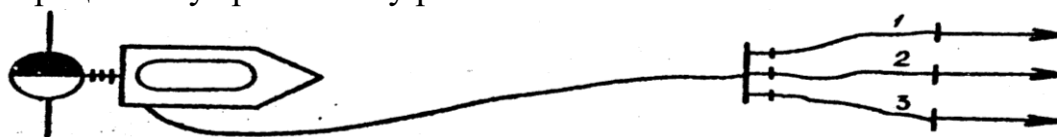


Рис. 13.2.

Відповідь: $K = 5$.

13.6. Визначити кількість пожежних автонасосів для подачі води до місця пожежі на відстань 1200 м. Головний автонасос, що розташований на граничній відстані від місця пожежі, забезпечує роботу двох стволів з насадками діаметром 19 мм. Перекачування проводиться по одній прогумованій рукавній лінії діаметром 66 мм. Напір насоса з урахуванням коефіцієнта режиму роботи – 90 м. Різниця висотних відміток сусідніх автонасосів – 10 м. Стволи підняті на висоту 9 м.

Відповідь: $K = 4$.

13.7. Визначити необхідну кількість автонасосів, що забезпечують подачу води до місця пожежі на відстань 1000 м. Перекачування здійснюється по одній прогумованій рукавній лінії діаметром 66 мм. Головний автонасос, розташований на граничній відстані від місця пожежі, забезпечує роботу трьох стволів з насадками діаметром 13 мм. Робочі лінії довжиною 40 м кожна прокладені із прогумованих рукавів діаметром 51 мм. Напір насосів з урахуванням коефіцієнта режиму роботи – 90 м. Місцевість рівна.

Відповідь: $K = 3$.

13.8. Визначити необхідну кількість автонасосів, що забезпечують подачу води до місця пожежі на відстань 800 м. Перекачування здійснюється по одній прогумованій рукавній лінії діаметром 66 мм, головний автонасос розташований біля місця пожежі й забезпечує роботу трьох стволів з насадками діаметром 13 мм, струмені робочі. Різниця висотних відміток сусідніх автонасосів – 5 м. Напір насоса з урахуванням коефіцієнта режиму роботи – 80 м.

Відповідь: $K = 4$.

13.9. Визначити граничну відстань між автонасосами АНР-40 (130), що перекачують воду, якщо головний автонасос за умовами гасіння пожежі повинен забезпечити подачу води з витратою 22 л/с. Перекачування проводиться по двох прогумованих рукавних лініях діаметром 66 мм. Різниця висотних відміток між сусідніми автонасосами – 3 м. Коефіцієнт режиму роботи насоса: $\alpha = 0,75$.

Розв'язання. Максимальна кількість рукавів між сусідніми автонасосами у разі перекачування у дві лінії визначається за рівнянням:

$$n = 4 \cdot \frac{\alpha(a - bQ^2) - H_{ост} - \Delta Z}{S_p Q^2} =$$

$$= 4 \cdot \frac{0,75(110,6 - 0,0098 \cdot 22^2) - 3 - 10}{0,034 \cdot 22^2} = 17.$$

Довжина рукавної лінії $l_p = 20n = 20 \cdot 17 = 340$ м.

Відповідь: $l_p = 340$ м.

13.10. За умовою задачі 13.9 визначити граничну відстань між автонасосами АНР-40 (130), якщо перекачування здійснюється по одній прогумованій рукавній лінії діаметром 66 мм.

Відповідь: $l_p = 80$ м.

13.11. Визначити граничну відстань між сусідніми автонасосами, якщо перекачування здійснюється по одній прогумованій рукавній лінії діаметром 66 мм. Витрата води – 12 л/с. Місцевість рівна. Напір насоса з урахуванням коефіцієнта режиму роботи – 80 м.

Відповідь: $l_p = 300$ м.

13.12. Визначити граничну відстань між пожежними автомобілями ПНС-110, що перекачують воду, якщо головний автомобіль повинен забезпечити витрату води 25 л/с. Перекачування проводиться по двох прогумованих лініях діаметром 77 мм, різниця висотних відміток між сусідніми автонасосами – 2 м. Насоси працюють у граничному режимі. Визначити відстань між автонасосами, якщо перекачування буде здійснюватися по одній рукавній лінії діаметром 77 мм.

Відповідь: $l_1 = 860$ м., $l_2 = 220$ м.

13.13. До лафетного ствола з насадком діаметром 32 мм подача води здійснюється від двох пожежних автомобілів АНР-40 (130) і АА-40 (131) (рис. 13.1 №2). Від автомобіля АНР-40 (130) прокладена рукавна лінія діаметром

77 мм з прогумованих рукавів довжиною 100 м, а від автомобіля АА-40 (131) з 77 мм з прогумованих рукавів довжиною 120 м. Насоси розташовані нижче лафетного ствола на 5 м.

Визначити подачу кожного насоса, що працює.

Розв'язання. Аналітична умова спільної роботи насосів і рукавних систем представлена у вигляді:

$$a - bQ_b^2 = S_{\text{сист.}}(KQ_H)^2 + Z.$$

Звідки визначимо Q_H :

$$Q_H = \sqrt{\frac{a-Z}{b+K^2S_{\text{сист.}}}}.$$

Опір системи за умовами цієї задачі дорівнює:

$$\begin{aligned} S_{\text{сист.}} &= \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{S_P n_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_P n_2}}\right)^2} + S_H = \\ &= \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{5 \cdot 0,015}} + \frac{1}{\sqrt{6 \cdot 0,015}}\right)^2} + 0,0132 = 0,034. \end{aligned}$$

Тоді подача кожного насоса буде дорівнювати:

$$Q_H = \sqrt{\frac{110,6-5}{0,0098+2^2 \cdot 0,034}} = 26,9 \text{ л/с.}$$

Відповідь: $Q_H = 26,9 \text{ л/с.}$

13.14. Визначити напір насоса для подачі води до лафетного ствола з діаметром насадка 50 мм по двох паралельних прогумованих рукавних ліній довжиною 120 м і діаметром 77 мм для одержання струменя довжиною 25 м (рис. 13.1 №1). Ствол піднято на висоту 2 м.

Відповідь: $H_H = 69,6 \text{ м.}$

13.15. Визначити витрату з лафетного ствола, напір перед насадком діаметром 38 мм для подачі води до місця пожежі (рис. 13.1 №2), якщо від кожного насоса прокладено по одній прогумованій рукавній лінії діаметром 66 мм кожна, причому одна рукавна лінія має довжину 160 м, друга – 120 м. Ствол піднято на висоту 8 м. Напір на насосах підтримується рівним 80 м.

Відповідь: $Q = 23,7 \text{ л/с; } H = 22,5 \text{ м.}$

13.16. Визначити, яка кількість паралельно працюючих пожежних автомобілів АА-40 (131) може забезпечити роботу лафетного ствола з витратою води 50 л/с (рис. 13.1 №2), якщо від кожного насоса прокладено по одній прогумованій рукавній лінії діаметром 89 мм і довжиною 80 м кожна. Ствол піднятий на висоту 10 м.

Відповідь: $K = 1.$

13.17. Визначити витрату води з лафетного ствола з діаметром насадка 65 мм (рис. 13.1 № 3), якщо від кожного із двох пожежних автомобілів АНР-40 (130) і АЦ-40 (375) прокладено по дві прогумовані рукавні лінії діаметром 77 мм і довжиною 80 м кожна. Подача води до лафетного ствола здійснюється

по двох магістральних прогумованих лініях діаметром 89 мм, довжиною 20 м кожна. Ствол піднято на висоту 4 м. Насоси працюють в однаковому режимі й розвивають напір 90 м.

Відповідь: $Q = 92,7$ л/с.

Розділ II. Системи протипожежного водопостачання.

Глава VI. Розрахунки зовнішнього водопроводу промислового об'єкта.

Основним завданням розрахунків проєктованого зовнішнього водопроводу є забезпечення подачі води до кожного будинку і споруди в необхідній кількості й під відповідним напором.

§ 14. Визначення розрахункових витрат води.

Розрахункові витрати води можна розділити на три основні групи: господарсько-питні, виробничі та витрати на пожежогасіння.

У випадку розрахунків об'єднаних водопроводів розрахункові витрати води для промислових підприємств визначаються:

$$\text{до пожежі: } Q_{\text{розр.}} = Q_{\text{макс.г.п}} + Q_{\text{вир.}} + Q_{\text{душ}}, \quad (14.1)$$

$$\text{під час пожежі: } Q'_{\text{розр}} = Q_{\text{макс.г.п}} + Q_{\text{вир.}} + Q_{\text{душ}}, \quad (14.2)$$

де $Q_{\text{макс.г.п}}$ – максимальна господарсько-питна витрата вода, л/с;

$Q_{\text{вир.}}$ – виробнича витрата води, л/с;

$Q_{\text{душ.}}$ – душова витрата води, л/с;

$Q_{\text{пож.}}$ – витрата води на пожежогасіння (зовнішнє й внутрішнє), л/с.

Максимальна господарсько-питна витрата води буде дорівнювати:

$$Q_{\text{макс.г.п}} = K Q_{\text{сер.г.п}} \quad (14.3)$$

де K – коефіцієнт нерівномірності водоспоживання;

$Q_{\text{сер.г.п}}$ – середня господарсько-питна витрата води л/с.

$$Q_{\text{сер.г.п}} = \frac{q_{1,2} N_1}{3600t}, \quad (14.4)$$

де $q_{1,2}$ – норма водоспоживання на 1 людину в зміну в гарячих і холодних цехах;

t – час роботи зміни, година;

N – число робітників у цеху.

Витрата води на душові установки визначається за формулою:

$$Q_{\text{душ.}} = \frac{q_3 N_2}{3600n}, \quad (14.5)$$

де q_3 – годинна витрата води на 1 душову сітку, л/год;

N_2 – кількість людей, які приймають душ;

n – кількість людей на 1 душову сітку.

Витрата води на пожежні потреби дорівнює сумі витрат води на зовнішнє й внутрішнє пожежогасіння:

$$Q_{\text{пож.}} = Q_{\text{зовн.}} + Q_{\text{вн.}} \quad (14.6)$$

Витрата води на зовнішнє пожежогасіння визначається за ДБН В.2.5-74:2013. Витрата води на внутрішнє пожежогасіння визначається за ДБН В.2.5-64:2012.

Задачі.

14.1. Визначити розрахункові витрати води для об'єднаного водопроводу промислового підприємства із числом робітників – 2500 людей у зміну. Найбільш пожежонебезпечний будинок II ступеня вогнестійкості об'ємом 27000 м³. Категорія виробництва по пожежній небезпеці Б. Виробнича витрата вода – 10 л/с. Площа території – 40 га. Кількість робітників, що приймають душ, 1700, а кількість людей на одну душову сітку – 7. Усі цехи підприємства з тепловиділенням менше 20 ккал/м³ годину. Ширина будинку до 60 м.

Розв'язання. Визначаємо розрахункові витрати води для промислових підприємств:

до пожежі

$$Q_{\text{розр}} = Q_{\text{макс.г.п.}} + Q_{\text{вир.}} + Q_{\text{душ.}}$$

під час пожежі:

$$Q'_{\text{розр}} = Q_{\text{макс.г.п.}} + Q_{\text{вир.}} + Q_{\text{пож.}}$$

Визначаємо витрати на окремі потреби.

Максимальна господарсько-питна витрата води:

$$Q_{\text{макс.г.п.}} = Q = 3 \cdot \frac{25 \cdot 2500}{8 \cdot 3600} = 6,51 \text{ л/с.}$$

Витрата води на душові потреби:

$$Q_{\text{душ.}} = \frac{q_3 N_2}{3600n} = \frac{500 \cdot 1700}{7 \cdot 3600} = 33,73 \text{ л/с.}$$

Витрата води на пожежу:

$$Q_{\text{пож.}} = Q_{\text{зовн.}} + Q_{\text{вн.}} = 20 + 5 = 25 \text{ л/с.}$$

Тоді розрахункова витрата води на підприємстві до пожежі:

$$Q_{\text{розр}} = 6,51 + 10 + 33,73 = 50,24 \text{ л/с,}$$

під час пожежі:

$$Q'_{\text{розр}} = 6,51 + 10 + 25 = 41,51 \text{ л/с.}$$

Відповідь: $Q_{\text{розр}} = 50,24 \text{ л/с}$; $Q'_{\text{розр}} = 41,51 \text{ л/с}$.

14.2. Визначити витрату води на потреби пожежогасіння для промислового підприємства площею 67 га, якщо найбільш пожежонебезпечні будинки мають наступні характеристики:

Таблиця 14.1.

Номер будівлі	Ступінь вогнестійкості	Категорія виробництва за пожежною небезпекою	Будівельний об'єм, тис.м ³
1	II	В	17
2	II	Г	30
3	III	В	7

Ширина будівель до 60 м.

Відповідь: $Q_{\text{пож.}} = 25 \text{ л/с}$.

14.3. Визначити розрахункову витрату води на випадок пожежі об'єднаного водопроводу промислового підприємства, якщо максимальна господарсько-питна витрата становить 10 л/с, а виробнича витрата – 12 л/с.

Найбільш пожежонебезпечна будівля II ступеня вогнестійкості об'ємом 18000 м³. Підприємство займає територію 19 га. Категорія виробництва за пожежною небезпекою – В. Ширина будівлі – 55 м.

Відповідь: $Q'_{\text{розр}} = 37$ л/с.

14.4. Визначити розрахункову витрату води для об'єднаного водопроводу промислового підприємства із числом працівників 2000. Кількість робітників, які приймають душ, становить 1100 людей, а кількість людей на одну душову сітку – 5. Усі цехи підприємства з тепловиділенням менше 20 ккал/м³·год. Виробнича витрата води – 15 л/с. Підприємство займає територію 22 га.

Відповідь: $Q_{\text{розр}} = 50,78$ л/с.

14.5. Визначити розрахункові витрати води для ливарного цеху металургійного комбінату, якщо будівля об'ємом 55000 м³ і шириною 63 м має II ступінь вогнестійкості. Число робітників у зміну – 300 людей, причому 290 з них приймають душ.

Витрата води на виробничі потреби становить 10 л/с.

Категорії виробництва за пожежною небезпекою – Г. Кількість людей на I душову сітку – 5.

Відповідь: $Q_{\text{розр}} = 19,41$ л/с, $Q'_{\text{розр}} = 31,35$ л/с.

§ 15. Гідравлічний розрахунок зовнішньої водопровідної мережі.

Гідравлічний розрахунок зовнішньої водопровідної мережі проводиться за двох режимів.

Для першого режиму (до пожежі) необхідно:

- визначити витрати води на ділянках мережі,
- вибрати діаметри труб на ділянках мережі,
- визначити втрати напору в мережі.

Для другого режиму (під час пожежі) необхідно:

- перевірити обрані діаметри труб щодо пропуску витрати води під час пожежі;
- визначити втрати напору в мережі.

Підбір діаметрів труб можна проводити за граничними економічно обґрунтованими витратами, значення яких наведено в табл. 15.1.

Таблиця 15.1.

Діаметри труб, мм	Граничні економічні витрати, л/с	
	$Q_{\text{мін.}}$	Q
100	-	8,2
125	7	14
150	12,7	21,8
200	21,8	40
250	40	65
300	65	94
400	133	178

Розгалуджені, з тупиками, водогінні мережі розраховуються як системи послідовно з'єднаних трубопроводів, що здійснюють подачу води до бічних відгалужень.

Втрати напору по всій довжині трубопроводу визначаються як сума втрат у послідовно з'єднаних ділянках труб:

$$h = h_1 + h_2 + \dots + h_n. \quad (15.1)$$

Для кільцевих водогінних мереж втрати напору розраховуються на ділянках і в півкільцях. При цьому суми втрат напору в півкільцях повинні дорівнювати:

$$\Sigma h_I = \Sigma h_{II} \quad (15.2)$$

У разі розрахунків для кільцевої мережі можлива похибка Δh , названа нев'язкою мережі:

$$\Sigma h_I - \Sigma h_{II} = \pm \Delta h. \quad (15.3)$$

У разі розрахунків мережі щодо пропускну здатності води до пожежі допускається нев'язка мережі не більше 0,5 м, а під час пожежі – не більше 1 м.

Якщо при розрахунках нев'язка вийшла більше припустимої, то необхідно перерозподілити потоки на величину поправочної витрати Δq .

Поправочна витрата визначається за формулою:

$$\Delta q = \pm \frac{\Delta h}{\Sigma S Q}, \quad (15.4)$$

де S – опір ділянки;

Q – витрата води на ділянці, л/с.

Втрати напору в мережі будуть визначатися як напівсума втрат напору в півкільцях:

$$h_c = \frac{\Sigma h_I + \Sigma h_{II}}{2}. \quad (15.5)$$

З урахуванням місцевих втрат, загальні втрати напору в мережі визначаються за формулою:

$$h_{\text{заг.}} = 1,1 h_c$$

Задачі.

15.1. Провести гідравлічний розрахунок зовнішньої водопровідної мережі промислового підприємства. Кількість води, що відбирається, у вузлах і довжини розрахункових ділянок наведені на рис. 15.1.

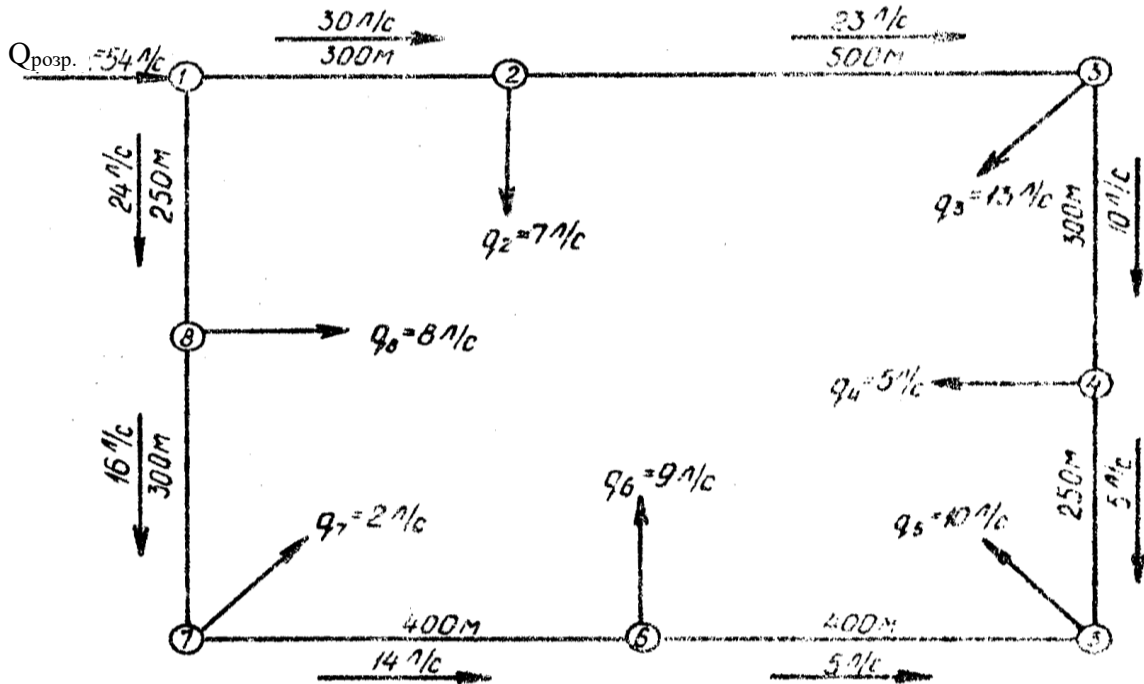


Рис. 15.1.

Розв'язання. Вважаємо, що точка 5 є диктуючою точкою. Тоді кільцева мережа розбивається на 2 півкільця:

I півкільце - (1 – 2 – 3 – 4 – 5);

II півкільце - (1 – 8 – 7 – 6 – 5).

Визначимо попередні витрати на ділянках у кожному півкільці.

I півкільце (1 – 2 – 3 – 4 – 5).

Ділянка 5 – 4:

$$Q_{5-4} = \frac{q_5}{2} = \frac{10}{2} = 5 \text{ л/с.}$$

Ділянка 4 – 3:

$$Q_{4-3} = Q_{5-4} + q_4 = 5 + 5 = 10 \text{ л/с.}$$

Ділянка 3 – 2:

$$Q_{3-2} = Q_{4-3} + q_3 = 10 + 13 = 23 \text{ л/с.}$$

Ділянка 2 – 1:

$$Q_{2-1} = Q_{3-2} + q_2 = 23 + 7 = 30 \text{ л/с.}$$

II півкільце (1 – 8 – 7 – 6 – 5).

Ділянка 5 – 6:

$$Q_{5-6} = \frac{q_5}{2} = \frac{10}{2} = 5 \text{ л/с.}$$

Ділянка 6 – 7:

$$Q_{6-7} = Q_{5-6} + q_6 = 5 + 9 = 14 \text{ л/с.}$$

Ділянка 7 – 8:

$$Q_{7-8} = Q_{6-7} + q_7 = 14 + 2 = 16 \text{ л/с.}$$

Ділянка 8 – 1:

$$Q_{8-1} = Q_{7-8} + q_8 = 16 + 8 = 24 \text{ л/с}$$

За витратами води на ділянках підбираємо діаметри труб (таблиця 15.1).

Опір ділянок визначимо за додатком 2. Розрахунки наведено в таблиці 15.2.

У випадку попереднього розподілу витрат по ділянках нев'язка складала:

$$\Delta h = \Sigma h_I - \Sigma h_{II} = 10,01 - 9,13 = 0,88 \text{ м,}$$

що перевищує допустиму.

Визначимо поправочну витрату:

$$\Delta q = \pm \frac{\Delta h}{2 \Sigma S Q} = \pm \frac{0,88}{2 \cdot 1,90} = 0,23 \text{ л/с.}$$

Перерозподіляємо витрати води на величину поправочної витрати, додаючи до недовантажених ділянок I півкільця та віднімаючи від перевантажених ділянок II півкільця. Після розподілу витрат води нев'язка становить:

$$\Delta h' = 10,23 - 10,12 = 0,11 \text{ м,}$$

що не перевищує допустиму величину.

Таблиця 15.2.

№ півкільця	№ ділянок	Довжина ділянок, l, м	Діаметри труб, d, мм	Витрата, Q л/с	Опір, S	$h = SQ^2$	Перше виправлення				
							SQ	Δq	Q'	V	$h' = K_n SQ^2$
I	5-4	250	100	5	0,0779	1,95	0,39	+0,23	5,23	0,67	2,33
	4-3	300	125	10	0,029	2,9	0,29	+0,23	10,23	0,83	3,20
	3-2	500	200	23	0,004	2,12	0,092	+0,23	23,23	0,74	2,32
	2-1	300	200	30	0,0024	2,16	0,072	+0,23	30,23	0,96	2,27
						$\Sigma h_I = 9,13 \text{ м}$	$\Sigma h'_{II} = 10,12 \text{ м}$				
II	5-6	400	100	5	0,1247	3,12	0,62	-0,23	4,77	0,61	3,16
	6-7	400	150	14	0,0148	2,9	0,21	-0,23	13,77	0,78	2,98
	7-8	300	150	16	0,0111	2,84	0,18	-0,23	15,77	0,89	2,88
	8-1	250	200	24	0,002	1,15	0,05	-0,23	23,77	0,76	1,21
						$\Sigma h_{II} = 10,01 \text{ м}$	$\Sigma h'_{II} = 10,23 \text{ м}$				

Лінійні втрати напору в мережі:

$$h_c = \frac{\Sigma h_I + \Sigma h_{II}}{2} = \frac{10,12 + 10,23}{2} = 10,18 \text{ м.}$$

Загальні втрати напору:

$$h_{\text{заг.}} = 1,1h_c = 1,1 \cdot 10,18 = 11,20 \text{ м.}$$

15.2. Провести перевірочний розрахунок зовнішньої водопровідної мережі, розрахункова схема якої зображена на рис. 15.2.

Відбір води на пожежні потреби в кількості 30 л/с здійснюється через гідрант, розташований на ділянці 6–5. Довжини розрахункових ділянок, діаметри труб, кількість води, що відбирається, у вузлах прийняті за умовами задачі 15.1.

Розв'язання. При перевірочних розрахунках необхідно визначити, чи можуть труби, обраних діаметрів, у результаті основного розрахунку пропустити додаткову кількість води для гасіння пожежі. При цьому швидкість руху води не повинна перевищувати 2-2,5 м/с. В окремих випадках, у разі більших втрат напору, на будь-яких з розрахункових ділянок можна збільшити діаметр труб навіть за умови швидкості менше допустимої.

За диктуючу точку прийнята точка 5. Тоді кільцева мережа розбивається на 2 півкільця:

I півкільце – (1 – 2 – 3 – 4 – 5) і II півкільце – (1 – 8 – 7 – 6 – 5).

Перевірочні розрахунки проводяться в тому ж порядку, що й основні. Вони наведені в розрахунковій таблиці 16.3.

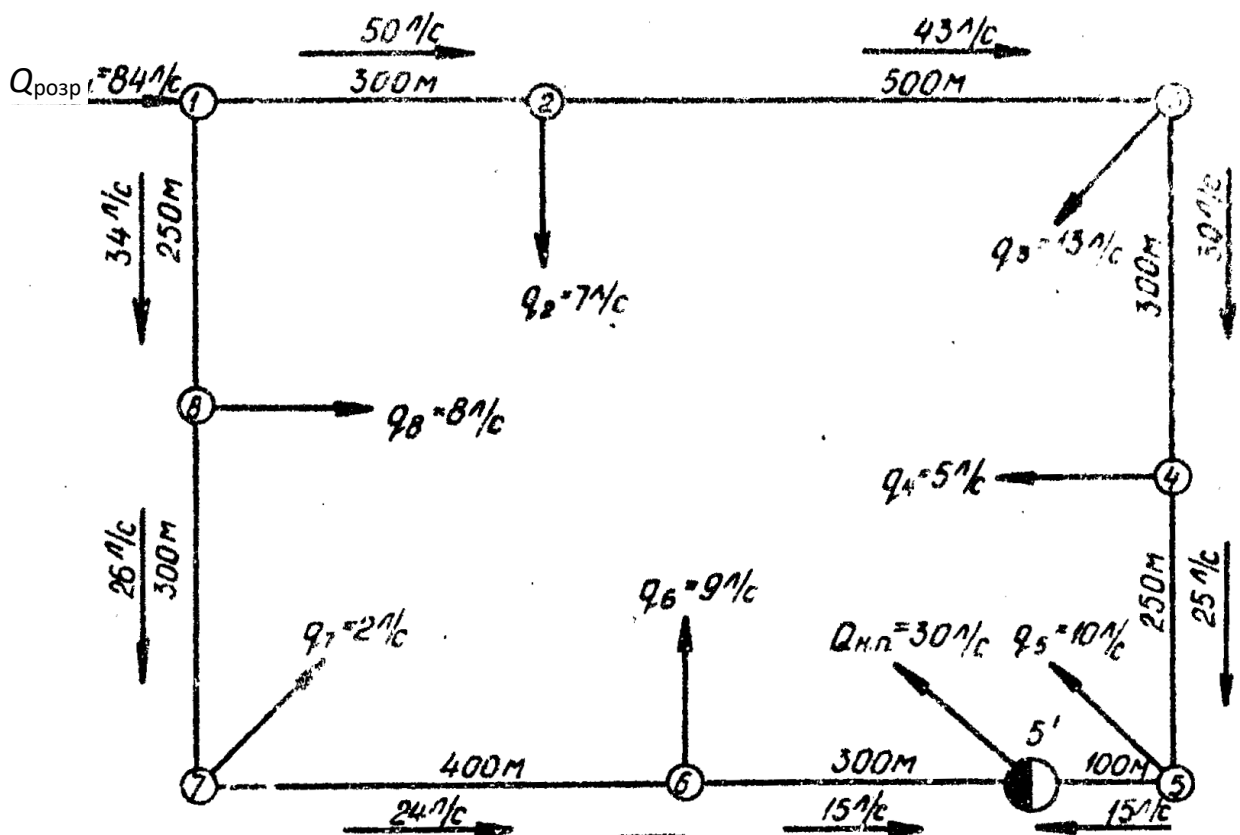


Рис. 15.2.

Таблиця 15.3.

№ півкілець	№ ділянок	Довжина ділянок, l, м	Діаметри труб, d, мм	Витрата, Q л/с	Опір, S	$h = SQ^2$	Перше виправлення				
							SQ	Δq	Q'	h'	V, м/с
I	5-5	100	100	15	0,0312	7,02	0,47	-0,81	14,49	6,28	1,81
	5-4	250	100	25	0,0779 (0,0242)	48,7 (15,1)	0,61	-0,81	24,19	14,16	3,08 (1,97)
			125								
	4-3	300	125	30	0,029 (0,0111)	26,1 (10,0)	0,33	-0,81	29,19	9,46	8,36 (1,64)
			150								
3-2	500	200	43	0,0040	7,4	0,17	-0,81	42,19	7,12	1,34	
2-1	300	200	50	0,0024	6,0	0,12	-0,81	49,19	5,81	1,57	
						$\Sigma h_I = 95,22\text{м}$					
						(45,52)м					
II	5-6	300	100	15	0,0435	21,0	1,4	+0,81	15,81	23,37	2,0
	6-7	400	150	24	0,0148	8,52	0,36	+0,81	24,81	9,11	1,40
	7-8	300	150	26	0,0111	7,5	0,29	+0,81	26,81	7,98	1,52
	8-1	250	200	34	0,002	2,31	0,07	+0,81	34,81	2,46	1,10
						$\Sigma h_{II} = 39,33\text{м}$					
							$\Sigma h_{II}' = 42,92\text{м}$				

Примітки:

I. На ділянці 8–1 швидкість руху води менша 1,2 м/с, тому втрати напору визначені за формулою:

$$h = K_n SQ^2.$$

II. На ділянці 5–4 труби діаметром 100 мм замінені на 125 мм, а на ділянці 4–3 труби діаметром 125 мм на 150 мм. Швидкість руху води на цих ділянках перевищила допустиму, і різко зросли втрати напору.

У разі попереднього розподілу витрат по ділянках нев'язка склала:

$$\Delta h = 45,52 - 39,33 = 6,19 \text{ м},$$

що перевищує допустиму.

Поправочна витрата в цьому випадку складе:

$$\Delta q = \pm \frac{6,19}{2 \cdot 3,82} = \pm 0,81 \text{ л/с}.$$

Після перерозподілу витрат по ділянках мережі й визначення втрат напору знову знаходимо нев'язку:

$$\Delta h' = 42,92 - 42,83 = 0,09,$$

яка буде в допустимих межах.

Лінійні втрати напору в мережі під час пожежі:

$$h_c = \frac{42,92 + 42,83}{2} = 42,88 \text{ м}.$$

Загальні втрати напору в мережі:

$$h_{\text{заг}} = 1,1 \cdot 42,88 = 47,17 \text{ м}.$$

15.3. Провести гідравлічний і перевірочний розрахунки зовнішньої водопровідної мережі за даними, наведеними в табл. 15.4. Схеми відбору води до пожежі та під час пожежі наведено на рис. 15.1 і 15.2.

Таблиця 15.4.

Номери варіантів	Витрата води на вузлах, q л/с								
	$Q_{рег}$	$Q_{пож}$	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7	q_8
1	70	20	6	12	6	10	7	3	8
2	84	25	8	14	5	12	9	4	7
3	90	30	5	15	7	8	11	5	8
4	87	40	4	10	9	14	2	4	4
5	69	20	7	8	11	9	5	3	6

§ 16. Розрахунки запасних і напірно-регулюючих ємностей.

Підбір насосів.

Регулюючі й запасні ємності в системі водопроводу призначені для регулювання нерівномірності водоспоживання, збереження запасів води, забезпечення необхідних напорів. До таких ємностей відносять резервуари чистої води, водонапірні башти, пневматичні установки.

Об'єм резервуарів чистої води W_p визначається за формулою:

$$W_p = W_{рег} + W_{н.з.} + W_{в.п.} \quad (16.1)$$

де $W_{рег}$ – регулюючий об'єм (вважається рівним 18 % від змінного водоспоживання), м³;

$W_{в.п.}$ – об'єм води на власні потреби (дорівнює 3 % від змінного водоспоживання), м³;

$W_{н.з.}$ – недоторканий запас води, м³.

Потреби води на зміну $W_{з.п.}$ визначаються за формулою:

$$W_{з.п.} = \frac{(Q_{г.п.} + Q_{вир.})t_3 + Q_{душ}t_d}{1000}, \quad (16.2)$$

де $Q_{г.п.}$ – середня господарсько-питна витрата води, л/с;

$Q_{вир.}$ – витрата вода на виробничі потреби, л/с;

$Q_{душ}$ – витрата води на прийняття душу, л/с;

t_3 – тривалість зміни, з;

t_d – тривалість прийняття душу наприкінці кожної зміни, с.

Тоді,

$$W_{рег} = 0,18W_{з.п.},$$

$$W_{в.п.} = 0,03W_{з.п.}$$

Недоторканий пожежний запас $W_{н.з.}$ забезпечує безперебійність роботи системи водопостачання в режимі гасіння пожежі. Він може бути визначений за формулою:

$$W_{н.з.} = \frac{Q'_{розр}t_{п.з.}}{1000}, \quad (16.3)$$

де $Q'_{розр.}$ – розрахункова витрата води під час пожежі, л/с;

$t_{п.з.}$ – розрахунковий час гасіння зовнішньої пожежі, с.

Типові проекти резервуарів чистої вода наведено в додатку 18.

Об'єм бака водонапірної башти визначається за формулою:

$$W_6 = W_{рег} + W_{н.з.}, \quad (16.4)$$

де W_6 – об'єм бака, м³;

$W_{рег} = 0,06W_{з.п.}$ – регулюючий об'єм, м³;

$W_{н.з.}$ – недоторканий пожежний запас води, м³.

Недоторканий пожежний запас води може бути визначений за формулою:

$$W_{н.з.} = \frac{(Q_{вн.п.} + Q_{макс.г.п.} + Q_{вир.})t_{п.в.}}{1000} \quad (16.5)$$

де $Q_{\text{вн.п.}}$ — нормативна витрата води на внутрішнє пожежогасіння, л/с;

$Q_{\text{макс.г.п.}}$ — максимальна господарсько-питна витрата, л/с;

$t_{\text{п.в.}}$ — нормативний час гасіння пожежі усередині будівлі, с.

Висота розташування водонапірного баку H_6 повинна бути така, щоб забезпечити роботу внутрішніх пожежних кран-комплектів за найнижчого рівня води в баці:

$$H_B = h_{\text{заг}} + H_B + \Delta Z, \quad (16.6)$$

де $h_{\text{заг}}$ — загальні втрати напору в зовнішній мережі до пожежі, м;

H_B — вільний напір на ввіді в будівлю, м;

ΔZ — різниця висотних відміток диктуючої точки і водонапірної башти.

Вільний напір на ввіді в будівлю визначається за формулою:

$$H_B = h_{\text{вн.с}} + H_{\text{пк}} + Z \quad (16.7)$$

де $h_{\text{вн.с}}$ — загальні втрати напору у внутрішній мережі, м;

$H_{\text{пк}}$ — необхідний напір на розрахунковому пожежному кран-комплекті.

Типові проекти водонапірних башт наведено в додатку 19.

Насоси для насосної станції підбираються залежно від розрахункової витрати води й необхідного напору.

Необхідний напір насосів, які подають воду з резервуара у водонапірну башту, може бути визначений за формулою:

$$H_{\text{н.н.}} = h_{\text{заг}} + H_6 + h_6 + (Z_6 - Z_{\text{н}}) + Z_{\text{вс}} + h_{\text{вс}}, \quad (16.8)$$

де $h_{\text{заг}}$ — загальні втрати напору у водоводі, м;

H_6 — висота водонапірної башти, м;

h_6 — висота бака, м;

Z_6 — відмітка землі в місці установки водонапірної башти, м;

$Z_{\text{н}}$ — відмітка осі насоса, м;

$Z_{\text{в}}$ — геометрична висота всмоктування, що дорівнює глибині резервуара, м;

$h_{\text{вс}}$ — втрати напору у всмоктувальних і нагнітальних лініях насосів (можна прийняти рівним 2,5 м).

Напір, що розвивається стаціонарним пожежним насосом у водопроводі високого тиску, визначають за формулою:

$$H_{\text{пож.}} = h_{\text{заг.в}} + h_{\text{заг.з.}} + H_{\text{г}} + Z_{\text{дикт.}} - Z_{\text{н}} + h_{\text{вс}} + Z_{\text{вс}}, \quad (16.9)$$

де $h_{\text{заг.в}}$ — загальні втрати напору у водоводах під час пожежі, м;

$h_{\text{заг.з.}}$ — загальні втрати напору в зовнішній мережі під час пожежі, м;

$H_{\text{г}}$ — напір на розрахунковому гідранті, м;

$Z_{\text{дикт.}}$ — відмітка землі, що на поверхні пожежного гідранта, м;

$Z_{\text{н}}$ — відмітка осі насоса, м;

$h_{\text{вс}}$ — втрати напору у всмоктувальній та нагнітальній лініях насоса (можна приймати рівним 3 м);

$Z_{\text{вс}}$ — геометрична висота всмоктування, що дорівнює глибині резервуара, м.

Напір на розрахунковому гідранті:

$$H_{\text{г}} = H_B + h_{\text{г.к.}} + Z_{\text{тр.}}, \quad (16.10)$$

де H_B — вільний напір на гідранті, м;

$h_{г.к.}$ – втрати напору на гідранті й колонці, м;
 $Z_{тр.}$ – глибина закладення труб, дорівнює 2,5 м.
 Вільний напір на гідранті:

$$H_B = h_p + H_{нас} + Z_б,$$

де h_p – втрати напору в рукавній лінії, м;

$H_{нас}$ – напір перед насадком, м;

$Z_б.$ – висота будівлі, м.

Підбір насосів проводиться за їхніми основними характеристиками з урахуванням умов спільної роботи у водогінній мережі у випадку різних режимів водоспоживання. Основні характеристики насосів деяких марок наведені в додатку 20.

Задачі.

16.1. Визначити мінімальний об'єм резервуарів чистої води, що забезпечують роботу об'єднаного водопроводу промислового підприємства площею 23 га, підібрати типові проекти резервуарів. Категорія виробництва за пожежною небезпекою В, найбільш пожежонебезпечна будівля II ступеня вогнестійкості, будівельний об'єм не вище 30 тис. м³.

Витрати вода для підприємства становлять: $Q_{сер} = 3,5$ л/с;

$Q_{макс.г.п.} = 10,5$ л/с; $Q_{вир.} = 25$ л/с; $Q_{душ} = 12$ л/с.

Розв'язання. Загальний об'єм резервуарів чистої води:

$$W_p = W_{рег} + W_{н.з.} + W_{в.п.}$$

Об'єм змінного водоспоживання:

$$\begin{aligned} W_{з.в.п.} &= \frac{(Q_{сер.} + Q_{вир.})t_з + Q_{душ}t_д}{1000} = \\ &= \frac{(3,5+25) \cdot 8 \cdot 3600 + 12 \cdot 45 \cdot 60}{1000} = 853,2 \text{ м}^3. \end{aligned}$$

Регулюючий об'єм:

$$W_{рег} = 0,18W_{з.в.} = 0,18 \cdot 853,2 = 153,6 \text{ м}^3.$$

Об'єм води для власних потреб:

$$W_{в.п.} = 0,03W_{с.в.} = 0,03 \cdot 853,2 = 25,6 \text{ м}^3.$$

Розрахункова витрата води під час пожежі:

$$Q'_{роз} = Q_{макс.г.п} + Q_{вир.} + Q_{пож.} = 10,5 + 25 + 25 = 60,5 \text{ л/с.}$$

Недоторканий пожежний запас води:

$$W_{н.з.} = \frac{Q'_{роз}t_{п.н.}}{1000} = \frac{60,5 \cdot 3 \cdot 3600}{1000} = 653,4 \text{ м}^3.$$

Тоді,

$$W_p = 153,6 + 653,4 + 25,6 = 832,6 \text{ м}^3.$$

Вибираємо 2 типових резервуари (проект 90І-4-15 додатка 18) об'ємом по 500 м³.

16.2. Визначити недоторканий пожежний запас води в резервуарі, що забезпечує роботу об'єднаного водопроводу промислового підприємства

площею 20 га. Категорія виробництва за пожежною безпекою В. Основні будівлі підприємства III ступеню вогнестійкості об'ємом до 25000 м³. Максимальна господарсько-питна витрата становить 6 л/с, виробнича – 4 л/с.

Відповідь: $W_{н.з.} = 432 \text{ м}^3$.

16.3. Визначити висоту розташування бака водонапірної башти, установленної на пожежно-виробничому водопроводі промислового об'єкта, якщо лінійні втрати напору в зовнішній водогінній мережі – 10 м. Найбільш не вигідно розташований внутрішній пожежний кран-комплект перебуває на висоті 15 м і віддалений від вводу в будівлі на 200 м. Гідрравлічний ухил для внутрішнього водопроводу становить 0,01. Внутрішні пожежні кран-комплекти обладнані не прогумованими рукавами довжиною 20 м, діаметром 51 мм і стволами з насадками діаметром 16 мм. Радіус компактної частини струменя 10 м. Відмітки землі диктуючої точки – 13 м, водонапірної башти – 20 м.

Розв'язання. Висота водонапірної башти може бути визначена за рівнянням:

$$H_B = h_{\text{заг}} + h_{\text{вн.с.}} + H_{\text{пк}} + H(Z_0 - Z_6).$$

Втрати напору у внутрішній водогінній мережі:

$$h_{\text{вн.с.}} = il = 0,01 \cdot 200 = 2 \text{ м.}$$

Напір на внутрішньому пожежному кран-комплекті:

$$H_{\text{пк}} = h_p + H_c = (S_p + S_H)Q^2 = (0,24 + 1,26) \cdot 33^2 = 16,3 \text{ м.}$$

Тоді: $H_B = 11 + 2 + 16,3 + 15 + (13 - 20) = 37,3 \text{ м.}$

Відповідь: $H_B = 37,3 \text{ м.}$

16.4. Водонапірний бак встановлений на об'єднаному водопроводі промислового підприємства із числом робітників у зміну 1700 людей. Господарське водоспоживання одним робітником 25 л у зміну; виробнича витрата становить 20 л/с. Визначити об'єм недоторканного пожежного запасу води в баці.

Відповідь: $W_{н.з.} = 17,6 \text{ м}^3$.

16.5. На якій висоті слід розташувати водонапірний бак, що забезпечує роботу пожежного водопроводу промислового підприємства. Зовнішня водогінна мережа довжиною 500 м прокладена із чавунних труб діаметром 100 мм. Втрати напору на один метр зовнішньої мережі становлять 0,02, загальні втрати напору у внутрішній водогінній мережі 3 м. Внутрішні пожежні кран-комплекти, що розташовані на висоті 12 м, обладнані прогумованими рукавами діаметром 51 мм і стволами з насадками діаметром 16 мм. Витрата води на один струмінь 3 л/с. Місцевість рівна.

Відповідь: $H_B = 39,5 \text{ м.}$

ДОДАТКИ

Додаток 1.

Густина ρ і питома вага γ у деяких рідин

Рідина	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$\gamma, \text{Н/м}^3$
Вода	0	999,87	9805,37
	4	1000,0	9806,65
	10	999,73	9840,00
	20	998,23	9789,29
	30	995,67	9764,19
	40	992,24	9730,55
Ацетон	15	790	7747,25
Бензин	15	680-740	6668,52-7256,92
Гліцерин безводний	20	1260	12236,40
Керосин	15	790-820	7747,25-8041,45
Масло машинне	20	898	8806,37
Масло трансформаторне	20	887	8698,37
Нафта натуральна	15	700-900	6864,65-8825,98
Ртуть	0	13596	133331
	20	13546	132841
Спирт метиловий	15	810	7943,39
Спирт етиловий	15-18	790	7749,25

Додаток 2.

Коефіцієнт динамічної μ та кінематичної ν в'язкості деяких рідин

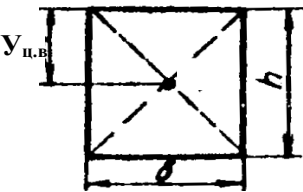
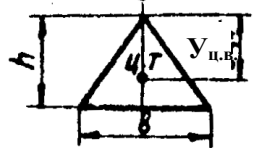
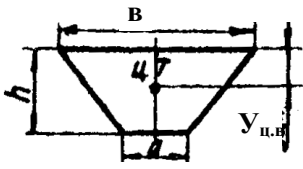


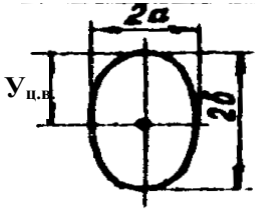
Рідина	$t, ^\circ\text{C}$	$\mu \cdot 10^3, \text{Па}\cdot\text{с}$	$\nu \cdot 10^{-6}, \text{м}^2/\text{с}$
Вода	0	1,792	1,792
	10	1,306	1,306
	20	1,004	1,006
	30	0,802	0,805
	40	0,654	0,659
	Бензин	15	0,650
Спирт етиловий	20	1,190	1,540
Ртуть	15	1,540	0,110
Керосин	15	2,170	2,700
Масло трансформаторне	20	27,500	31,000

Коефіцієнти об'ємного стиснення β_w та модулі пружності K деяких рідин

Рідина	$\beta \cdot 10^{11}, \text{Па}^{-1}$	$K \cdot 10^{-9}, \text{Па}$
Вода	47	2,13
Гліцерин	22,3	4,48
Керосин	68-92	1,09-1,47
Ртуть	4	25
Спирт етиловий	113	0,88

Коефіцієнти температурного розширення β_t рідин (для температури близько 18 °С)

Рідини	$\beta_t \cdot 10^4, \text{K}^{-1}$
Ацетон	14,3
Бензол	10,6
Вода при 5-10 °С	0,53
10-20 °С	1,50
20-40 °С	3,02
40-60 °С	4,58
60-80 °С	5,87
Гліцерин	5,06
Керосин	10,0
Нафта	9,2
Ртуть	1,8
Скипидар	9,4
Спирт метиловий	11,9
Спирт етиловий	11,0
Кислота азотна	12,4
Ефір етиловий	16,3

Фігура	I_0	$Y_{ц.в.}$	ω
Прямокутник 	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{1}{2}h$	bh
Рівнобедрений трикутник 	$\frac{bh^3}{36}$	$\frac{2}{3}h$	$\frac{1}{2}bh$
Рівнобедрена трапеція 	$\frac{h^3}{36} \cdot \frac{a^2 + 4ab + b^2}{a+b}$	$\frac{h}{3} \cdot \frac{a+2b}{a+b}$	$\frac{h}{3} \cdot (a+b)$
Коло 	$\frac{\pi R^4}{4}$	R	πR^2
Напівколо 	$\frac{9\pi^2 + 64}{12\pi} R^4$	$\frac{4}{3} \cdot \frac{R}{\pi}$	$\frac{1}{2} \cdot \pi R^2$
Еліпс 	$\frac{1}{4} \cdot \pi ab^3$	b	πab

Розрахункові значення питомих опорів для сталевих та чавунних водопровідних труб

Труби сталеві (водогазопровідні, газові)		Труби сталеві зварні		Труби чавунні напірні	
Умовна прохідність, мм	А (для Q м³/с)	Умовна прохідність, мм	А (для Q м³/с)	Умовна прохідність, мм	А (для Q м³/с)
6	2211000000	50	3686	11540	-
8	211000000	60	2292	-	-
10	31000000	75	929,4	-	-
15	8966000	80	454,3	953,4	-
20	1660000	100	172,9	311,7	-
25	427800	125	76,36	96,72	-
32	91720	150	30,65	37,11	-
40	44480	175	20,79	-	-
50	11080	200	6,959	8,092	-
70	3009	250	2,187	2,528	-
80	1167	300	0,8466	0,9485	-
90	529,4	350	0,3731	-	0,4365
100	281,2	400	0,1859	-	0,2189
125	86,22	450	0,09928	-	0,1186
150	33,94	500	0,05784	-	0,06778
-	-	600	0,02262	-	0,02596
-	-	700	0,01098	-	0,01154
-	-	800	0,005514	-	0,005669
-	-	900	0,002962	-	0,003047
-	-	1000	0,001699	-	0,00175
-	-	1200	0,0006543	-	0,000662
-	-	1400	0,0002916	-	-
-	-	1500	0,0002023	-	-
-	-	1600	0,0001437	-	-

Значення опорів S для чавунних труб

Довжина $l, \text{ м}$	Внутрішній діаметр $d, \text{ мм}$						
	100	125	150	200	250	300	350
50	0,0155585	0,004836	0,0018555	0,0004046	0,0001264	0,000047425	0,000021825
100	0,03117	0,009672	0,003711	0,0008092	0,0001264	0,000047425	0,000021825
150	0,046755	0,014508	0,0055665	0,0012138	0,0003792	0,000142275	0,000065475
200	0,06234	0,019344	0,07422	0,0016184	0,0005056	0,0001897	0,0000873
250	0,077925	0,02418	0,0092775	0,002023	0,000632	0,000237125	0,000109125
300	0,09351	0,029016	0,011133	0,0024276	0,0007584	0,00028455	0,00013095
350	0,109095	0,033852	0,0129885	0,0028322	0,0008848	0,000331975	0,000152775
400	0,12468	0,038688	0,014844	0,0032368	0,0010112	0,0003794	0,0001746
450	0,140265	0,043524	0,0166995	0,0036414	0,0011376	0,000426825	0,000196425
500	0,15585	0,04836	0,018555	0,004046	0,001264	0,00047425	0,00021825
550	0,171435	0,053196	0,0204105	0,0044506	0,0013904	0,000521675	0,000240075
600	0,18702	0,058032	0,022266	0,0048552	0,0015168	0,0005691	0,0002619
650	0,202605	0,062868	0,0241215	0,0052598	0,0016432	0,000616525	0,000283725
700	0,21819	0,067704	0,025977	0,0056644	0,0017696	0,00066395	0,00030555
750	0,233775	0,07254	0,0278325	0,006069	0,001896	0,000711375	0,000327375
800	0,24936	0,077376	0,029688	0,0064736	0,0020224	0,00075588	0,0003492
850	0,264945	0,082212	0,0315435	0,0068782	0,0021488	0,000806225	0,000371025
900	0,28053	0,087048	0,033399	0,0072828	0,0022752	0,00085365	0,00039285
950	0,296115	0,091884	0,0352545	0,0076874	0,0024016	0,000901075	0,000414675
1000	0,3117	0,09672	0,03711	0,008092	0,002528	0,0009485	0,0004365

Значення поправочного коефіцієнта K

$v, \text{ м/с}$	0,12	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6
K_{II}	1,41	1,33	1,28	1,24	1,2	1,175	1,15	1,13	1,115
$v, \text{ м/с}$	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	1,0	1,1	1,2
K_{II}	1,1	1,085	1,07	1,06	1,05	1,04	1,03	1,015	1,0

Значення швидкостей руху води V залежно від витрати та діаметра труб, м/с

Q, л/с	Внутрішній діаметр труб d, мм							
	100	125	150	200	250	300	350	400
1	0,13							
2	0,245							
3	0,37	0,24						
4	0,49	0,315	0,22					
5	0,61	0,39	0,274					
6	0,73	0,47	0,33					
7	0,86	0,55	0,384	0,217				
8	0,98	0,63	0,44	0,248				
9	1,1	0,71	0,493	0,279				
10	1,2	0,79	0,548	0,31				
12	1,47	0,94	0,66	0,37	0,24			
14	1,71	1,1	0,77	0,434	0,278			
16	1,96	1,26	0,88	0,5	0,32	0,22		
18	2,2	1,42	0,99	0,56	0,36	0,247		
20	2,45	1,52	1,1	0,62	0,4	0,275	0,205	
22	2,69	1,73	1,21	0,68	0,44	0,3	0,226	
24	2,94	1,89	1,32	0,74	0,48	0,33	0,246	
26	-	2,05	1,43	0,81	0,52	0,375	0,267	0,206
28	-	2,2	1,53	0,87	0,56	0,385	0,287	0,22
30	-	2,36	1,64	0,93	0,6	0,41	0,308	0,237
32	-	2,52	1,75	0,99	0,64	0,44	0,328	0,253
34	-	2,68	1,86	1,05	0,68	0,467	0,349	0,269
36	-	2,83	1,97	1,12	0,72	0,495	0,369	0,285
38	-	2,99	2,08	1,18	0,76	0,52	0,39	0,3
40	-	-	2,19	1,24	0,84	0,55	0,41	0,316
42	-	-	2,3	1,3	0,86	0,58	0,43	0,33
44	-	-	2,41	1,36	0,86	0,6	0,45	0,35
46	-	-	2,52	1,43	0,92	0,63	0,47	0,36
48	-	-	2,63	1,49	0,95	0,66	0,49	0,38
50	-	-	2,74	1,55	0,99	0,69	0,51	0,395

**Значення опорів S_p одного стандартного пожежного рукава
довжиною 20 м**

d, мм	Рукави прогумовані		Рукави не прогумовані	
	S_p	A_p	S_p	A_p
51	0,13	0,0065	0,24	0,012
66	0,034	0,0017	0,077	0,00385
77	0,015	0,00075	0,030	0,0015
89	0,007	0,00035	-	-
110	0,0022	0,00011	-	-
150	0,0004	0,00002	-	-

Значення опорів S_p для гідрантів та колонок

Місцеві опори	Величина S для витрати Q , л/с
Гідрант та колонка «ленінградського» типу на 2 штуцера	$S_{\Gamma}=0,0036$; $S_{\kappa}=0,0021$; $S_{\Gamma,\kappa}=0,0057$
Підземний гідрант та колонка «московського» типу на 2 штуцери	$S_{\Gamma}=0,0016$; $S_{\kappa}=0,0035$; $S_{\Gamma,\kappa}=0,0051$
Надземний гідрант та колонка «московського» типу на 2 штуцери	$S_{\Gamma,\kappa}=0,0063$
Підземний гідрант та колонка «московського» типу на 1 штуцер	$S_{\Gamma}=0,0016$; $S_{\kappa}=0,01$; $S_{\Gamma,\kappa}=0,012$
Надземний гідрант та колонка «московського» типу на 1 штуцер	$S_{\Gamma,\kappa}=0,014$

Значення опорів S для водомірів (для Q л/с)

Калібр водоміра, мм	23	30	40	50	80	100	150
Опір водоміра	5,1	1,3	0,32	0,0265	0,207	0,000675	0,00013

Значення коефіцієнтів місцевого опору, стиснення, швидкості та витрати для насадків різної форми

Тип отвору або насадка	ζ	ϵ	φ	μ
Круглий отвір в тонкій стінці	0,06	0,64	0,97	0,62
Зовнішній циліндричний насадок	0,5	1	0,82	0,82
Внутрішній циліндричний насадок	1,0	1	0,71	0,71
Конічний збіжний насадок, $\alpha = 13^\circ$	0,09	0,98	0,96	0,94
Конічний розбіжний насадок, $\alpha = 5^\circ$	3,45	1	0,475	0,475
Коноїдальний насадок	0,06	1	0,98	0,98

Значення опорів S_H і провідності p насадків (для Q , л/с)

Діаметр насадка, мм	S_H	p	Діаметр насадка, мм	S_H	p
10	8.26	0.348	28	0.134	2.73
11	5.64	0.421	1	0.117	2.93
12	3.98	0.501	2	0.102	3.13
13	2.89	0.588	3	0.088	3.37
14	2.40	0.682	4	0.079	3.56
15	1.63	0.783	5	0.070	3.80
16	1.26	0.891	6	0.062	4.02
17	0.99	1.01	7	0.055	4.26
18	0.787	1.13	8	0.049	4.51
19	0.634	1.26	38	0.040	5.02
20	0.516	1.39	40	0.032	5.57
21	0.425	1.53	42	0.026	6.14
22	0.353	1.68	44	0.022	6.74
23	0.295	1.84	46	0.018	7.35
24	0.249	2.00	48	0.016	8.02
25	0.212	2.17	50	0.0132	8.70
26	0.181	2.35	65	0.0053	13.74
27	0.156	2.54			

**Значення напору (Н) і витрати рідини (Q) залежно
від радіуса компактного струменя для ручних стволів**

Радіус дії компактної частини струменя, м	Діаметри насадків, d мм									
	13		16		19		22		25	
	Н, м	Q, л/с	Н, м	Q, л/с	Н, м	Q, л/с	Н, м	Q, л/с	Н, м	Q, л/с
6	8.1	1.7	7.8	2.5	7.7	3.5	7.6	4.6	7.5	5.9
7	9.6	1.8	9.2	2.7	9.0	3.8	8.9	5.0	8.7	6.4
8	11.2	2.0	10.7	2.9	10.4	4.1	10.2	5.4	10.1	6.9
9	13.0	2.1	12.4	3.1	12.0	4.3	11.7	5.8	11.6	7.4
10	14.9	2.3	14.1	3.3	13.6	4.6	13.2	6.1	12.9	7.8
11	16.9	2.4	15.8	3.5	15.2	4.9	14.7	6.5	14.4	8.3
12	19.1	2.6	17.7	3.8	16.9	5.2	16.3	6.8	15.9	8.7
13	21.4	2.7	19.7	4.0	18.7	5.4	18.0	7.2	17.5	9.1
14	23.9	2.9	21.8	4.2	20.6	5.7	19.8	7.5	19.2	9.6
15	26.7	3.0	24.0	4.4	22.6	6.0	21.6	7.8	20.9	10.0
16	29.7	3.2	26.5	4.6	24.7	6.2	23.6	8.2	22.7	10.4
17	33.2	3.4	29.2	4.8	27.1	6.5	25.7	8.5	24.7	10.8
18	37.1	3.6	32.2	5.1	29.6	6.8	28.0	8.9	26.8	11.3
19	41.7	3.8	35.6	5.3	32.5	7.1	30.5	9.3	29.1	11.7
20	46.8	4.0	39.4	5.6	35.6	7.5	33.2	9.7	31.5	12.2
21	53.3	4.3	43.7	5.9	39.1	7.8	36.3	10.1	34.3	12.3
22	60.9	4.6	48.7	6.2	43.1	8.2	39.6	10.6	37.3	13.3
23	70.3	4.9	54.6	6.6	47.6	8.7	43.4	11.1	40.6	13.9
24	82.2	5.3	61.5	7.0	52.7	9.1	47.7	11.7	44.3	14.5
25	98.2	5.8	70.2	7.5	58.9	9.6	52.7	12.2	48.6	15.2
26	-	-	80.6	8.0	66.2	10.2	58.5	12.9	53.5	15.9
27	-	-	94.2	8.6	75.1	10.9	65.3	13.7	59.1	16.8
28	-	-	-	-	86.2	11.6	75.5	14.5	65.8	17.7

Радіуси дії компактної частини струменя лафетних стволів (якщо кут нахилу радіуса дії компактної частини струменя дорівнює 30°)

Напір на стволі, м	Радіус дії компактної частини струменя, м, при діаметрах насадків, мм													
	28		32		38		50		63		76		89	
	R, м	Q, л/с	R, м	Q, л/с	R, м	Q, л/с	R, м	Q, л/с	R, м	Q, л/с	R, м	Q, л/с	R, м	Q, л/с
20	20,2	12,2	20,0	15,9	20,5	22,4	21,0	38,9	-	-	-	-	-	-
25	23,0	13,6	23,5	17,8	24,0	25,1	25,0	43,5	-	-	-	-	-	-
30	26,0	14,9	26,5	19,4	27,0	27,4	28,0	47,5	29,0	76,5	30,5	111,0	32,5	150,0
35	28,0	16,2	28,5	21,0	29,5	29,7	31,0	51,5	32,0	82,5	34,0	119,0	36,5	163,0
40	30,0	17,2	30,5	22,5	32,0	31,0	33,0	55,0	35,0	87,3	38,0	127,0	41,0	174,0
45	31,5	18,3	32,5	23,8	34,0	33,6	35,5	58,3	38,0	92,5	41,0	135,0	45,0	184,0
50	33,0	19,3	34,0	25,1	35,5	35,4	37,5	61,4	42,0	97,5	45,0	142,0	49,0	194,0
55	34,0	20,2	36,0	26,0	37,0	37,2	39,0	64,4	44,0	102,0	49,0	149,0	53,0	203,0
60	35,5	21,1	37,0	27,6	38,0	38,2	40,5	67,3	46,0	106,0	52,0	155,0	56,0	212,0
65	36,5	22,0	37,5	28,6	39,0	40,4	41,5	70,0	49,0	111,0	55,0	162,0	60,0	221,0
70	37,0	22,8	37,5	29,7	39,5	41,9	42,5	72,6	52,0	115,0	58,0	168,0	63,0	230,0
75	-	-	-	-	40,0	43,4	43,5	75,3	54,0	119,0	60,5	174,0	66,0	238,0
80	-	-	-	-	40,5	44,8	44,5	77,8	56,0	123,0	63,0	179,0	69,0	245,0
85	-	-	-	-	-	-	45,5	80,1	57,0	127,0	65,0	185,0	72,0	253,0
90	-	-	-	-	-	-	46,0	82,5	59,0	131,0	67,0	191,0	74,0	260,0
95	-	-	-	-	-	-	46,5	84,8	60,0	134,0	69,0	196,0	74,5	268,0
100	-	-	-	-	-	-	47,0	87,0	62,0	138,0	70,0	201,0	75,5	274,0

Характеристики пожежних насосів, встановлених на пожежних автомобілях та мотопомпах

Модель мотопомпи, автомобіля	Марка насоса	Параметри, що характеризують тип насоса	
		a	b
МП-600	по марці мотопомпи	88,2	0,242
МП-800		59,0	0,048
МП-1400		102,6	0,016
МП-1600			
АЦ-30, АН-40, АА-30, АЦС-30	ПН-30 КФ	110,6	0,0104
АЦ-40, АНР-40, АА-40	ПН-40 У	110,6	0,0098
ПНС-110	ПН-110	111,7	0,0014

Типові проекти резервуарів чистої води (РЧВ)

Типовий проект	Об'єм, м ³	Розміри, м	Матеріал
901-4-10	100	3,7x6,5	Залізобетонний монолітний циліндричний
901-4-11	250	3,7x10	
901-4-15	500	5,1x12	
901-4-16	1000	5,1x18	
9014-17	2000	5,1x24	
901-4-18	150	3,82x8	
901-4-21	100	3,6x6	Циліндричний із збірних залізобетонних конструкцій
901-4-22	250	3,6x10	
901-4-23	500	4,8x12	
4-18-840	100	3,5x6x6	Залізобетонний прямокутний із збірних уніфікованих конструкцій заводського виготовлення
4-18-841	250	3,5x12x6	
4-18-842	500	3,6x12x12	
4-18-850	1000	4,8x18x12	
4-18-851	2000	4,8x24x18	
4-18-852	3000	4,8x24x30	
4-18-858	6000	4,8x36x36	
4-18-854	10000	4,8x48x48	
4-18-855	20000	4,8x64x64	
901-4-8с	100	2,5x7,6	Відкритий пожежний резервуар із бутобетону
	150	2,5x9,3	Відкритий пожежний резервуар із цегли
901-4-13	100	3,8x5,8	Цегляний циліндричний
901-4-13	150	2,8x8,2	

Примітка: для циліндричних резервуарів вказані висота та діаметр, для прямокутних – висота та сторони резервуару.

Типові проекти водонапірних башт (ВБ)

Типовий проект	Кількість баків	Об'єм баку, м³	Висота розміщення баків, м
4-18-664	3	100, 200, 300	28, 32, 36
901-5-12/70	1	500	41
901-5-26/70	1	300	21, 24, 30, 36, 42
901-5-28/70	1	800	24, 30, 36
901-5-14/70	1	15	6, 9
901-5-9/70	1	150	18, 24
901-5-20/70	1	12	9, 12, 15, 18, 21
901-5-21/70	1	50	9, 12, 15, 18, 24, 21
901-5-22/70	1	100	9, 12, 15, 18, 24, 21
901-5-23/70	1	200	9, 12, 15, 18, 24, 21
901-5-24/70	1	300	15, 18, 21, 24, 30
901-5-25	1	500	15, 18, 21, 24, 30
901-5-13/70	1	15	9, 6
901-5-15/70	1	25	12
901-5-17/70	1	50	18

Основні параметри насосів

Марка насосу	Частота обертання, об/хв	Значення параметрів на крайніх точках робочих зон характеристик насоса (за графіками каталогу)			
		подача, Q л/с		напір, Н м	
К8/18	2900	1,6	3,9	20	14
К8/18а	2900	1,4	3,7	16	11,5
К20/18	2900	3	6	24	14,5
К20/18а	2900	2,8	5,8	18	13
К20/30	2900	2,9	8,3	35	23
К20/30а	2900	2,9	8,3	28	19
К45/30	2900	8,2	15	34	26
К45/30а	2900	7	12,8	25	18
К45/55	2900	8,3	17,1	60	14
К45/55а	2900	7,5	15,5	48	34
К90/20	2900	12	25	27	20
К90/20а	2900	10	25	25	14
К90/35	2900	18	33	39	26
К90/35а	2900	17	29	32	22
К90/55	2900	18	33	62	46
К90/55а	2900	17	29	50	35
К90/85	2900	17,9	32,1	95	72
К90/85а	2900	17	30	85	65
К160/20	1450	35	52	22	17
К160/20а	1450	30	46	18	13
К160/30	1450	34	52	34	28
К160/30а	1450	32	50	35	26
К290/18	1450	60	92	20	16
К290/30	1450	60,5	92	34,8	26,5
Д200-36	1450	41,4	69,4	41	32
Д200-95	1450	36,9	55,88	106	95
Д320-70	2900	61,1	88,9	79,5	70
Д500-65	1450	94,5	173,6	74	55

Список літератури

1. Баскин Ю.Г., Белявцев А.И. Сборник задач по курсу «Противопожарное водоснабжение». – М.: МССШМ МВД СССР, 1986. -173 с.
2. Качалов А.А., Воротынцев Ю.П. Власов А.В. Противопожарное водоснабжение. – М.: Стройиздат. 1985.
3. Кошмаров Ю.А. Задачник по гидравлике и пожарному водоснабжению. – М.: ВИПТШ МВД СССР. 1979.
4. Мальцев Е.Д. и др. Гидравлика и пожарное водоснабжение. – М.: ВИПТШ СССР. 1976.
5. Чугуев Р.Р. Гидравлика. – Л.: Энергоиздат. 1982.