

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

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

ДО ВИКОНАННЯ
розрахунково-графічного завдання
з навчальної дисципліни

«ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА РІДИН І ГАЗІВ»

*(для студентів 1 курсу денної та заочної форм навчання спеціальності
183 – Технології захисту навколишнього середовища*

**Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2018**

Методичні рекомендації до виконання розрахунково-графічного завдання з навчальної дисципліни «Прикладна механіка рідин і газу» (для студентів 1 курсу денної та 3 курсу заочної форм навчання, спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього середовища / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. Ю. Л. Коваленко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 25 с.

Укладач канд. техн. наук Ю. Л. Коваленко

Рецензент канд. техн. наук, доц. В. Є. Бекетов

Рекомендовано кафедрою інженерної екології міст, протокол № 1 від 01.09.2017.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРАХУНКІВ	5
2 ЗАГАЛЬНИЙ ВИГЛЯД ТРУБОПРОВОДУ	10
3 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ЗАВДАННЯ	12
4 ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ ЗАВДАННЯ	13
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ	24

ВСТУП

Метою розрахунково-графічного завдання є поглиблення теоретичних знань та надбання практичних навичок у розрахунках характеристик потоків реальних рідин у напірних трубопроводах.

Об'єктом розгляду є напірний трубопровід, через який споживачі мають отримувати воду з певною витратою.

Джерелами місцевих гідродинамічних опорів в системі є ділянки за живими перерізами потоку, де відбувається перебудова структури потоку рідини, а саме: вхід потоку з резервуара в трубу, раптове звуження або розширення потоку, поворот трубопроводу.

В завданні на розрахунково-графічну роботу наводяться основні характеристики системи:

- схема трубопроводу та його специфікація, яка визначає геометричну конфігурацію ділянок трубопроводу та розташування елементів утворення місцевих опорів;

- матеріал, з якого виготовлено трубопровід і тривалість його експлуатації;

- витрата рідини та зовнішній тиск на вільній поверхні рідини в резервуарі;

- вид (назва) рідини та її температура;

Результатом роботи мають бути визначені або розраховані:

- питома вага рідини, коефіцієнт її кінематичної в'язкості, еквівалентна шорсткість труб;

- лінійні втрати напору в трубопроводі;

- місцеві втрати напору;

- сумарні втрати напору;

- рівень води в резервуарі;

- втрати тиску в трубопроводі;

- висоти напірної лінії в трубопроводі;
- висоти п'єзометричної лінії в трубопроводі;

На підставі проведених розрахунків мають бути:

- побудована напірна лінія;
- побудована п'єзометрична лінія;

Пояснювальна записка до розрахунково-графічної роботи має включати титульний лист, зміст, вихідні дані обраного варіанту, розрахункову схему трубопроводу із зазначеними на ній вихідними даними, розрахунки лінійних втрат напору в трубопроводі, місцевих втрат напору та інших параметрів, креслення напірної та п'єзометричної ліній. Це креслення може бути виконане у відповідному масштабі на папері формату А4. У кінці пояснювальної записки мають бути наведені висновки і список використаних літературних та інших джерел.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРАХУНКІВ

Для потоку рідини у випадку, якщо між розрахунковими перерізами 1–1 і 2–2 немає відведення або притоків рідини, умова нерозривності є умовою постійності витрати і можна записати так:

$$V_1 \cdot \omega_1 = V_2 \cdot \omega_2 ,$$

де V_1 – середня швидкість потоку рідини у першому перерізі;

V_2 – середня швидкість потоку рідини у другому перерізі;

ω_1 – площа потоку рідини у першому перерізі;

ω_2 – площа потоку рідини у другому перерізі.

Це рівняння нерозривності для потоку, з якого виходить важлива особливість руху рідини – при зменшенні площі живого перерізу середня швидкість збільшується, а при збільшенні площі середня швидкість зменшується.

Існує два типи руху рідини: ламінарний і турбулентний.

Ламінарним рухом реальної рідини називають її впорядкований рух, при якому елементарні цівки є плавними лініями. Визначення можливості реалізації ламінарного режиму руху рідини в круглих трубах проводять за величиною числа Рейнольдса

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu},$$

де V – середня швидкість течії;

d – діаметр труби;

ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості.

Критерій встановлення ламінарного режиму: $Re < 2320$.

Турбулентним рухом реальної рідини називають її нестационарний рух, при якому для елементарних цівок властива хаотична, нерегульована і нестационарна картина їх розподілу в потоці.

Критерій реалізації турбулентного режиму руху рідини в круглих трубах – $Re > 2320$.

Рівняння Бернуллі для реальної рідини при сталому, плавно змінному за рухом потоку реальної рідини, для двох перерізів трубки струму має наступний вигляд

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha V_2^2}{2g} + h_{1-2},$$

де V_1 і V_2 – середні швидкості течії в живих перерізах;

α – коефіцієнт кінетичної енергії (Коріоліса), що приймається при турбулентному режимі руху рівним 1,0–1,1, а при ламінарному $\alpha = 2$ (у круглій трубі);

h_{1-2} – втрати повного тиску або питомої енергії (енергія на одиницю ваги) на подолання сил гідравлічного опору руху потоку на ділянці між перерізами.

Ліва частина рівняння є сумою двох видів енергії: потенційною, такою, що складається з енергії положення z і енергії тиску a , також кінетичної енергії, віднесених до одиниці ваги рухомої рідини. Її також називають гідродинамічним або повним тиском H_i . Величину $H = z + \frac{p}{\gamma}$ називають *п'єзометричним тиском*, а величину $\frac{V^2}{2g}$ – *швидкісним тиском*.

Права частина рівняння є сумою двох видів енергії: потенційною і кінетичною, а також враховує втрати повного тиску в потоці рідини на ділянці між двома живими перерізами.

Гідравлічним опором називають втрати механічної енергії рухомої реальної (в'язкої) рідини на роботу сил тертя, яка переходить в тепло. Величина гідравлічного опору залежить від режиму руху рідини – ламінарного або турбулентного.

Втрати повного тиску в потоці рідини на ділянці між двома живими перерізами складаються із втрат за довжиною і суми місцевих втрат

$$\Delta h_{1-2} = h_L + \sum h_m,$$

де h_L – втрати тиску за довжиною потоку;

$\sum h_m$ – сума місцевих втрат тиску.

Втрати тиску за довжиною трубопроводу постійного перетину визначають за формулою Вейсбаха-Дарсі

$$h_L = \lambda \cdot \left(\frac{l}{d}\right) \cdot \left(\frac{V^2}{2g}\right),$$

де λ – гідравлічний коефіцієнт тертя (коефіцієнт Дарсі);

l – довжина ділянки трубопроводу, на якому визначаються втрати тиску;

d – діаметр трубопроводу.

Для визначення гідравлічного коефіцієнта тертя можна рекомендувати формулу А. Д. Альтшуля

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta_y}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25},$$

де Δ_y – еквівалентна шорсткість стінок трубопроводу.

Значення еквівалентної шорсткості для деяких труб (мм):

- нові сталеві суцільнотягнуті труби – 0,02 – 0,1;
- нові чавунні труби – 0,25 – 1;
- сталеві водопровідні труби, що знаходилися в експлуатації – 1,2 – 1,5.

Місцеві гідравлічні опори це втрати механічної енергії потоку за рахунок локальних (місцевих) збуджень його рівномірності або плавної зміни. Такі місцеві збудження виникають при:

- вході потоку з резервуару в трубу при гострих вхідних кромках;
- вході в трубу з сіткою;
- при різкому розширенні трубопроводу;
- при різкому звуженні трубопроводу;
- при різкому повороті трубопроводу (гостре коліно);
- при вході потоку з труби в резервуар.

Місцеві втрати тиску визначають за формулою Вейсбаха

$$h_m = \xi_m \frac{V^2}{2g},$$

де ξ_m – коефіцієнт місцевого опору;

V – середня швидкість потоку в перетині за місцем місцевого опору (окрім входу потоку в резервуар).

Величину коефіцієнта місцевого опору приймають рівною:

- при вході потоку з резервуару в трубу – $\xi_m = 0,5$;
- при вході в трубу з сіткою – $\xi_m = 6$;

– при різкому розширенні трубопроводу – $\zeta_m = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2 = \left[\left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 - 1 \right]^2$;

– при різкому звуженні трубопроводу – $\zeta_m = \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1 \right)^2$, де

$$\varepsilon = 0,57 + \frac{0,043}{1,1 - (d_2 - d_1)^2};$$

– при різкому повороті трубопроводу (гостре коліно) – $\zeta = 1 - \cos(\alpha)$,

де α – кут повороту трубопроводу;

– при вході потоку з труби в резервуар під рівень рідини (в цьому випадку середню швидкість приймають в перетині перед входом) – $\zeta = 1$.

Висоту напірної лінії для кожного перерізу місцевих опорів знаходимо як

$$H = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{V^2}{2g}.$$

П'єзометричний напір у будь-якому перерізі трубопроводу менше повного напору на величину $V^2 / 2g$. Ця величина дорівнює висоті стовпа рідини в коліні водяного манометру, тому висота п'єзометричної лінії може бути визначена шляхом віднімання величини швидкісного напору від висоти напірної лінії:

$$P = H - \frac{V^2}{2g}.$$

Для гідравлічного розрахунку трубопроводу встановлена:

- пропускна спроможність трубопроводу (витрата рідини);
- повний тиск в кінцевому перетині трубопроводу;
- вид перекачуваної рідини і її температура;
- матеріал трубопроводу;
- конфігурація трубопроводу (розташування, довжина і діаметр його колін).

Завданням розрахунку є визначення повного тиску в його початковому перетині, що забезпечує задану пропускну спроможність трубопроводу.

Порядок розрахунку:

- складаємо рівняння Бернуллі для умов руху води в заданому трубопроводі;
- знаходимо питому вагу рідини, відповідну заданій температурі (за довідником);
- знаходимо коефіцієнт кінематичної в'язкості рідини, відповідний заданій температурі (за довідником);
- визначаємо еквівалентну шорсткість труб (за довідником);
- обчислюємо втрати тиску за довжиною кожного коліна (ділянки з постійним діаметром) трубопроводу за формулою Вейсбаха-Дарсі;
- обчислюємо сумарні втрати тиску по довжині трубопроводу, підсумовуючи втрати тиску у його колінах;
- визначаємо наявність і вид місцевих опорів;
- обчислюємо місцеві втрати тиску для кожного з місцевих опорів;
- обчислюємо сумарні місцеві втрати тиску в трубопроводі, підсумовуючи місцеві втрати тиску;
- обчислюємо повні втрати тиску, підсумовуючи сумарні місцеві втрати і втрати за довжиною трубопроводу;
- визначаємо повний тиск в початковому перетині трубопроводу, підставляючи в ліву частину рівняння Бернуллі величину повного тиску в кінцевому перетині і повні втрати тиску в трубопроводі;
- розраховуємо висоту напірної і п'єзометричної ліній для перетинів місцевих опорів.

2 ЗАГАЛЬНИЙ ВИГЛЯД ТРУБОПРОВОДУ

Є резервуар, заповнений водою. До резервуару приєднана труба, по якій вода витікає в навколишнє середовище.

Загальний вид трубопроводу показано на рисунку 1.

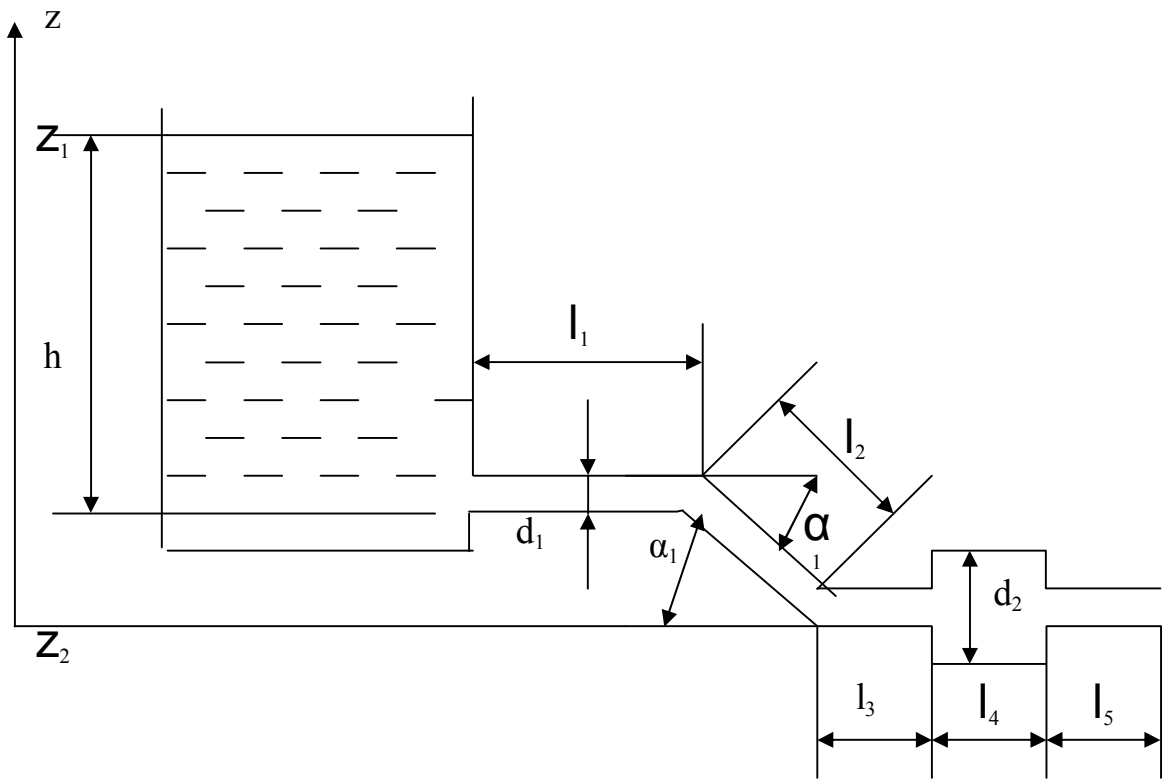


Рисунок 1 – Загальний вигляд трубопроводу

Труба має круглий перетин, її умовно можна розділити на п'ять ділянок.

Довжина кожної з ділянок позначена на схемі буквою l з підстрочним індексом, відповідним номеру ділянки.

Діаметр першої – третьої та п'ятої ділянок дорівнює d_1 , а четвертої – d_2 .

Перша ділянка розташована горизонтально. Друга з'єднана з першою гострим коліном і розташована під кутом до горизонту α .

Третя, четверта і п'ята ділянки розташовані горизонтально, третя приєднана до другої гострим коліном, на стику третьої та четвертої відбувається раптове розширення рідини, а четвертої і п'ятої – раптове звуження.

Координата точки витікання води в навколишнє середовище позначена z_2 , координата рівня поверхні води в резервуарі – z_1 .

На поверхню води в резервуарі і на точку витікання води в навколишнє середовище впливає однаковий атмосферний тиск P_a .

Обсяг резервуара можна вважати досить великим, щоб не враховувати швидкість зниження рівня води в резервуарі, і приймати глибину точки підключення труби постійною – h .

3 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ЗАВДАННЯ

Вихідні дані для розрахунку трубопроводу наведено у таблиці 1.

Значення еквівалентної шорсткості необхідно визначити самостійно, виходячи із зазначеного в завданні матеріалу труб, користуючись довідковою літературою.

Таблиця 1 – Вихідні дані для розрахунку трубопроводу

Варіант	Витрата води	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	d_1	d_2	α	P_a	t_b	Матеріал труби
	л/с	м	м	м	м	м	мм	мм	град	кПа	°С	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Зразок	120	15	2,1	12	50	18	200	300	45	98	25	сталеві зварні помірно іржаві
1	110	12	2,2	13	49	17	180	312	44	99	26	сталеві зварні які були в експлуатації
2	115	11	2,3	14	48	16	190	315	43	97	27	сталеві старі іржаві
3	98	10	2,4	15	47	15	210	314	42	96	28	цільнотянуті сталеві нові
4	97	9	2,5	16	46	14	220	317	41	95	29	цільнотянуті сталеві які були в експлуатації
5	98	8	1,8	17	45	13	230	320	40	94	30	оцинковані сталеві нові
6	95	16	1,7	18	44	12	240	321	32	99	31	оцинковані сталеві які були в експлуатації
7	90	13	1,9	19	43	11	250	322	33	93	32	чавунні нові
8	109	14	2,4	20	42	10	260	333	34	99	33	Чавунні які були в експлуатації
9	87	17	2,5	9	41	9	255	325	35	92	34	сталеві зварні які були в експлуатації
10	85	9	1,8	10	40	8	233	327	36	90	35	сталеві старі іржаві

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
11	87	8	3	12	52	20	177	308	44	99	20	цільнотянуті сталеві нові
12	85	9	2,1	13	49	21	180	306	43	97	19	цільнотянуті сталеві які були в експлуатації
13	108	12	2,2	14	48	17	190	305	42	96	17	оцинковані сталеві нові
14	110	11	2,3	15	47	16	210	312	41	95	26	оцинковані сталеві які були в експлуатації
15	115	10	2,4	16	46	15	220	315	40	94	27	чавунні нові
16	98	9	2,5	17	45	14	230	314	32	99	28	Чавунні які були в експлуатації
17	97	8	1,8	18	44	13	240	317	33	93	29	сталеві зварні які були в експлуатації
18	98	16	1,9	19	43	12	250	320	34	99	30	сталеві старі іржаві
19	95	13	2,1	20	42	11	260	321	35	92	31	цільнотянуті сталеві нові
20	90	14	2,2	9	41	10	255	322	36	90	32	цільнотянуті сталеві які були в експлуатації
21	109	17	2,3	10	40	9	233	333	44	99	33	оцинковані сталеві нові
22	87	9	2,4	13	51	8	178	325	43	97	34	оцинковані сталеві які були в експлуатації
23	85	10	2,5	14	56	22	187	327	42	96	35	чавунні нові
24	108	11	1,8	15	57	23	211	314	41	95	26	Чавунні які були в експлуатації
25	104	12	1,9	16	45	24	231	317	40	94	27	сталеві старі іржаві
26	98	13	2,1	17	46	25	243	320	32	99	28	цільнотянуті сталеві нові
27	97	14	2,2	18	47	26	216	321	33	93	23	цільнотянуті сталеві які були в експлуатації
28	98	16	2,3	19	58	32	213	322	34	99	24	оцинковані сталеві нові
29	95	17	2,1	20	52	31	218	321	35	92	32	оцинковані сталеві які були в експлуатації
30	90	9	2	9	54	21	231	322	36	90	33	чавунні нові

4 ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ ЗАВДАННЯ

Складемо рівняння Бернуллі для умов руху води в заданому трубопроводі.

Для двох перерізів труби рівняння Бернуллі має наступний вигляд:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot V_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot V_2^2}{2 \cdot g} + h_{l-2}.$$

Поверхню води в резервуарі будемо вважати перерізом № 1

Переріз витікання води в навколишнє середовище – перерізом № 2.

Розглянемо це рівняння виходячи із особливостей руху води в заданому трубопроводі.

На поверхню води в резервуарі і на точку витікання води в навколишнє середовище впливає однаковий атмосферний тиск P_a , тому $P_1 = P_2 = P_a$.

Точку витікання води в навколишнє середовище, позначену z_2 , будемо приймати за початок відліку координати вертикалі, тому $z_2 = 0$.

Враховуючи, що питома вага води мало змінюється при зміні тиску, будемо вважати, що $\gamma_1 = \gamma_2$.

Обсяг резервуара можна вважати досить великим, щоб не враховувати швидкість зниження рівня води в резервуарі, тому $V_1 = 0$.

α – коефіцієнт кінетичної енергії (Коріоліса), приймаємо при турбулентному режимі руху $\alpha = 1,0$.

Враховуючи зазначене, рівняння Бернуллі набуває такий вигляд

$$z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \sum h_i .$$

Як видно із схеми загального виду трубопроводу, координата поверхні води в резервуарі z_1 складається із глибини води в резервуарі над точкою її витікання і перепаду висот коліна l_2 : $z_1 = h + l_2 \sin \alpha$.

Тоді глибина води в резервуарі, яка забезпечує гідростатичний тиск, необхідний для витікання заданої витрати води визначимо за формулою:

$$h = \frac{V_2^2}{2g} + \sum h_i - l_2 \sin \alpha .$$

Розрахуємо питому вагу води γ , (Н/м³) в залежності від її температури, використовуючи рівняння (поліном четвертого ступеню), яке було отримано експериментально та наведено у довідковій літературі.

$$\gamma = 9809,1 + 0,4972 t - 0,07167 t^2 + 3,67 \cdot 10^{-4} t^3 - 1,05 \cdot 10^{-6} t^4, \text{ Н/м}^3 ,$$

де t – температура води, °С.

Приклад розрахунку.

$$\gamma = 9\,809,1 + 0,4\,972 \cdot 25 - 0,07\,167 \cdot 25^2 + 3,67 \cdot 10^{-4} \cdot 25^3 - 1,05 \cdot 10^{-6} \cdot 25^4 = 9\,809,1 + 12,43 - 44,793\,75 + 5,734\,3 - 0,410\,156 \approx 9\,780, \text{ Н/м}^3.$$

Кінематичну в'язкість ($\text{м}^2/\text{с}$) води в залежності від її температури можна розрахувати, використовуючи рівняння (поліном четвертого ступеню), яке було отримано експериментально та наведено у довідковій літературі.

$$\nu = (177,2 - 5,393\,1t + 0,095\,03t^2 - 8,66 \cdot 10^{-4} t^3 + 3,06 \cdot 10^{-6} t^4) \cdot 10^{-8}, \text{ м}^2/\text{с}.$$

Приклад розрахунку.

$$\nu = (177,2 - 5,393\,1 \cdot 25 + 0,095\,03 \cdot 25^2 - 8,66 \cdot 10^{-4} \cdot 25^3 + 3,06 \cdot 10^{-6} \cdot 25^4) \cdot 10^{-8} = (177,2 - 134,827\,5 + 59,393\,75 - 13,531\,2 + 1,195\,3) \cdot 10^{-8} \approx 89,43 \cdot 10^{-8}, \text{ м}^2/\text{с}.$$

За таблицею 4.1 довідника [1] еквівалентна шорсткість сталевих зварних помірно іржавих труб, що були в експлуатації,

$$\Delta = 0,5 \text{ мм} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Визначимо швидкість води в характерних перерізах труби.

$$V_1 = V_2 = V_3 = V_5 = \frac{Q}{\omega_1}, \text{ м/с};$$

$$V_4 = \frac{Q}{\omega_2}, \text{ м/с}.$$

Виразимо витрату води і діаметр ділянки труби в основних одиницях системи СІ.

Приклад розрахунку.

$$Q = 120 \text{ л/с} = 0,12 \text{ м}^3/\text{с},$$

$$d_1 = 200 \text{ мм} = 0,2 \text{ м},$$

$$d_2 = 300 \text{ мм} = 0,3 \text{ м}.$$

Площа перерізу круглого профілю визначається за формулою

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4}$$

Приклад розрахунку.

$$\Omega_1 = \frac{3,14 \cdot 0,2^2}{4} = 0,0314 \text{ м}^2;$$

$$\omega_2 = \frac{3,14 \cdot 0,3^2}{4} = 0,07065 \text{ м}^2;$$

$$V_1 = V_2 = V_3 = V_5 = \frac{0,12}{0,0314} = 3,82 \text{ м/с};$$

$$V_4 = \frac{0,12}{0,07065} = 1,7 \text{ м/с}.$$

Визначимо значення критерія Рейнольдса та перевіримо зроблено раніше припущення про турбулентний характер руху води в трубі.

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu}$$

Приклад розрахунку.

$$Re_{1-3,5} = \frac{3,82 \cdot 0,2}{89,43 \cdot 10^{-8}} = 854000.$$

$$Re_4 = \frac{1,7 \cdot 0,3}{89,43 \times 10^{-8}} = 570000$$

Виходячи з того, що отримані значення критерію Рейнольдса суттєво більші, ніж 2300, підтверджується зроблено раніше припущення про турбулентний характер руху води в трубі.

Визначення лінійних втрат напору.

Втрати напору за довжиною потоку відбуваються на п'яти ділянках трубопроводу, які є круглими трубами з постійними діаметрами.

Для визначення гідравлічного коефіцієнта тертя скористуємося формулою А. Д. Альтшуля

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{A_y}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}$$

Втрати тиску за довжиною трубопроводу постійного перетину визначимо за формулою Вейсбаха-Дарсі

$$h_L = \lambda \cdot \left(\frac{l}{d} \right) \cdot \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Приклад розрахунку.

Гідравлічний коефіцієнт тертя на ділянках 1-3;5.

$$\lambda_{1-3,5} = 0,11 \cdot \left(\frac{0,5 \cdot 10^3}{0,2} + \frac{68}{854000} \right)^{0,25} = 0,11(0,002\ 5 + 0,000\ 796)^{0,25} = 0,026\ 4$$

Втрати тиску на ділянці трубопроводу l_1 .

$$h_{1,л} = \frac{0,0264 \cdot 15 \cdot 3,82^2}{0,2 \cdot 2 \cdot 9,81} = 1,47\ \text{м.}$$

Втрати тиску на ділянці трубопроводу l_2 .

$$h_{2,л} = \frac{0,0264 \cdot 2,1 \cdot 3,82^2}{0,2 \cdot 2 \cdot 9,81} = 0,21\ \text{м.}$$

Втрати тиску на ділянці трубопроводу l_3 .

$$h_{3,л} = \frac{0,0264 \cdot 12 \cdot 3,82^2}{0,2 \cdot 2 \cdot 9,81} = 1,18\ \text{м.}$$

Втрати тиску на ділянці трубопроводу l_5 .

$$h_{5,л} = \frac{0,0264 \cdot 18 \cdot 3,82^2}{0,2 \cdot 2 \cdot 9,81} = 1,77\ \text{м.}$$

Гідравлічний коефіцієнт тертя на ділянці 4:

$$\lambda_4 = 0,11 \cdot \left(\frac{0,5 \cdot 10^3}{0,3} + \frac{68}{570000} \right)^{0,25} = 0,11 (0,001\ 67 + 0,000\ 119)^{0,25} = 0,022\ 6.$$

Втрати тиску за довжиною трубопроводу 4:

$$h_{4,л} = \frac{0,0226 \cdot 50 \cdot 1,7^2}{0,3 \cdot 9,81} = 0,55 \text{ м.}$$

Сумарні лінійні втрати напору

$$h_{л} = h_{1,л} + h_{2,л} + h_{3,л} + h_{4,л} + h_{5,л} = 1,47 + 0,21 + 1,18 + 0,55 + 1,77 = 5,17 \text{ м.}$$

Джерелами місцевих втрат напору є:

- вхід з резервуара до труби;
- гостре коліно між ділянками 1 і 2;
- гостре коліно між ділянками 2 і 3;
- раптове розширення трубопроводу між ділянками 3 і 4;
- раптове звуження трубопроводу між ділянками 4 і 5.

Розрахунок місцевої втрати напору на вході з резервуара до труби.

Місцеві втрати тиску визначають за формулою Вейсбаха

$$h_1 = \xi_1 \frac{V^2}{2g},$$

де ξ_1 – коефіцієнт місцевого опору;

V – середня швидкість потоку в перетині за місцем місцевого опору.

Величину коефіцієнта місцевого опору при вході потоку з резервуара в трубу приймають рівною: $\xi_1 = 0,5$.

Приклад розрахунку.

$$h_{1,м} = \frac{0,5 \cdot 3,82^2}{2 \cdot 9,81} = 0,37 \text{ м}$$

Розрахунок місцевої втрати напору на гострому коліні між ділянками 1 і 2.

$$h_2 = \xi_2 \frac{V_2^2}{2g},$$

$$\xi_2 = 1 - \cos(\alpha),$$

де α – кут повороту трубопроводу.

Приклад розрахунку.

$$\xi_2 = 1 - \cos(45) = 0,293,$$

$$h_{2,м} = \frac{0,293 \cdot 3,82^2}{2 \cdot 9,81} = 0,216 \text{ м.}$$

Розрахунок місцевої втрати напору на гострому коліні між ділянками 2 і 3 розраховується аналогічно місцевої втрати напору на гострому коліні між ділянками 1 і 2.

$$h_{3,м} = 0,216 \text{ м.}$$

Розрахунок місцевої втрати напору на різкому розширенні трубопроводу між ділянками 3 і 4.

$$h_4 = \frac{\xi_4 \cdot V_2^2}{2 \cdot g};$$

$$\xi_4 = \left[\left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 - 1 \right]^2.$$

Приклад розрахунку.

$$\xi_4 = \left[\left(\frac{0,3}{0,2} \right)^2 - 1 \right]^2 = 1,56;$$

$$h_{4,м} = \frac{1,56 \cdot 1,7^2}{2 \cdot 9,81} = 0,23 \text{ м.}$$

Розрахунок місцевої втрати напору на різкому звуженні трубопроводу між ділянками 4 і 5.

$$h_5 = \frac{\xi_5 \cdot V_1^2}{2 \cdot g};$$

$$\xi_5 = \frac{1}{\varepsilon} - 1,$$

$$\text{де } \varepsilon = 0,57 + \frac{0,043}{1,1 - (d_1 - d_2)^2}.$$

Приклад розрахунку.

$$\varepsilon = 0,57 + \frac{0,043}{1,1 - (0,3 - 0,2)^2} = 0,609;$$

$$\xi_s = \frac{1}{0,609} - 1 = 0,642;$$

$$h_{s,m} = \frac{0,642 \cdot 3,82^2}{2 \cdot 9,81} = 0,477 \text{ м.}$$

Визначення сумарної втрати напору:

$$\sum h_{1-5} = \sum h_l + \sum h_m.$$

Приклад розрахунку.

$$\sum h_{1-5} = 5,17 + 0,37 + 0,216 + 0,216 + 0,23 + 0,477 = 6,68 \text{ м.}$$

Визначення рівня води в резервуарі:

$$h = \frac{V^2}{2g} + \sum h_i - l_2 \sin \alpha.$$

Приклад розрахунку.

$$h = \frac{3,82^2}{2 \cdot 9,81} + 6,68 - 2,1 \sin 45 = 7,42 - 1,48 = 5,93 \text{ м.}$$

Визначення втрати тиску в трубопроводі

$$\Delta P = \gamma \sum h_i.$$

Приклад розрахунку.

$$\Delta P = 9780 \cdot 6,68 = 65300 \text{ Па.}$$

Побудова напірної лінії.

Висоту напірної лінії знаходимо як

$$H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g}.$$

Приклад розрахунку.

На поверхні резервуару враховуючи, що $V_0 = 0$,

$$H_0 = 7,42 + \frac{98000}{9780} = 17,44 \text{ м.}$$

На початку ділянки l_1 відбувається місцева втрата напору на вході з резервуара в трубопровід, тому висота напірної лінії стрибком знижується на величину $h_{1м}$:

$$H_{1вх} = H_0 - h_{1м} = 17,44 - 0,37 = 17,07 \text{ м.}$$

На ділянці l_1 відбуваються лінійні втрати напору, тому висота напірної лінії лінійно знижується на величину $h_{1л}$:

$$H_{1вих} = 17,07 - 1,47 = 15,6 \text{ м.}$$

На початку ділянки l_2 відбувається місцева втрата напору на подолання повороту потоку, тому висота напірної лінії стрибком знижується на величину $h_{2м}$:

$$H_{2вих} = 15,6 - 0,216 = 15,38 \text{ м.}$$

На ділянці l_2 відбуваються лінійні втрати напору, тому висота напірної лінії лінійно знижується на величину $h_{2л}$

$$H_{2вих} = 15,38 - 0,21 = 15,17 \text{ м.}$$

На початку ділянки l_3 відбувається місцева втрата напору на подолання повороту потоку, тому висота напірної лінії стрибком знижується на величину $h_{3м}$:

$$H_{3вих} = 15,17 - 0,216 = 14,96 \text{ м.}$$

На ділянці l_3 відбуваються лінійні втрати напору, тому висота напірної лінії лінійно знижується на величину $h_{3л}$:

$$H_{3вих} = 14,96 - 1,18 = 13,78 \text{ м.}$$

На початку ділянки l_4 відбувається місцева втрата напору на раптове розширення потоку, тому висота напірної лінії стрибком знижується на величину $h_{4м}$:

$$H_{4вих} = 13,78 - 0,23 = 13,54 \text{ м.}$$

На ділянці l_4 відбуваються лінійні втрати напору, тому висота напірної лінії лінійно знижується на величину $h_{4л}$:

$$H_{4вих} = 13,54 - 0,55 = 13 \text{ м.}$$

На початку ділянки l_5 відбувається місцева втрата напору на раптове звуження потоку, тому висота напірної лінії стрибком знижується на величину $h_{5м}$:

$$H_{5вих} = 13 - 0,477 = 12,52 \text{ м.}$$

На ділянці l_5 відбуваються лінійні втрати напору, тому висота напірної лінії лінійно знижується на величину $h_{5л}$:

$$H_{5вих} = 12,52 - 1,77 = 10,75 \text{ м.}$$

Розрахунок висоти п'єзометричної лінії.

П'єзометричний напір у будь-якому перерізі трубопроводу менше повного напору на величину $V^2 / 2g$, тому висота п'єзометричної лінії може бути визначена відніманням величини швидкісного напору від висоти напірної лінії:

$$P = H - \frac{V^2}{2g} .$$

Приклад розрахунку.

$$P_{0\text{ВХ}} = 17,44;$$

$$P_{1\text{ВХ}} = 17,07 - \frac{3,82^2}{2 \cdot 9,81} = 16,33 \text{ м};$$

$$P_{1\text{ВИХ}} = 15,6 - 0,745 = 14,9 \text{ м};$$

$$P_{2\text{ВХ}} = 15,38 - 0,745 = 14,63 \text{ м};$$

$$P_{2\text{ВИХ}} = 15,17 - 0,745 = 14,43 \text{ м};$$

$$P_{3\text{ВХ}} = 14,96 - 0,745 = 14,22 \text{ м};$$

$$P_{3\text{ВИХ}} = 13,78 - 0,745 = 13,04 \text{ м};$$

$$P_{4\text{ВХ}} = 13,54 - \frac{1,7^2}{2 \cdot 9,81} = 13,4 \text{ м};$$

$$P_{4\text{ВИХ}} = 13 - 0,15 = 12,85 \text{ м};$$

$$P_{5\text{ВХ}} = 12,52 - 0,745 = 11,78 \text{ м};$$

$$P_{5\text{ВИХ}} = 10,75 - 0,745 = 10 \text{ м}.$$

Приклад побудови напірної і п'єзометричної лінії наведено на рисунку 2.

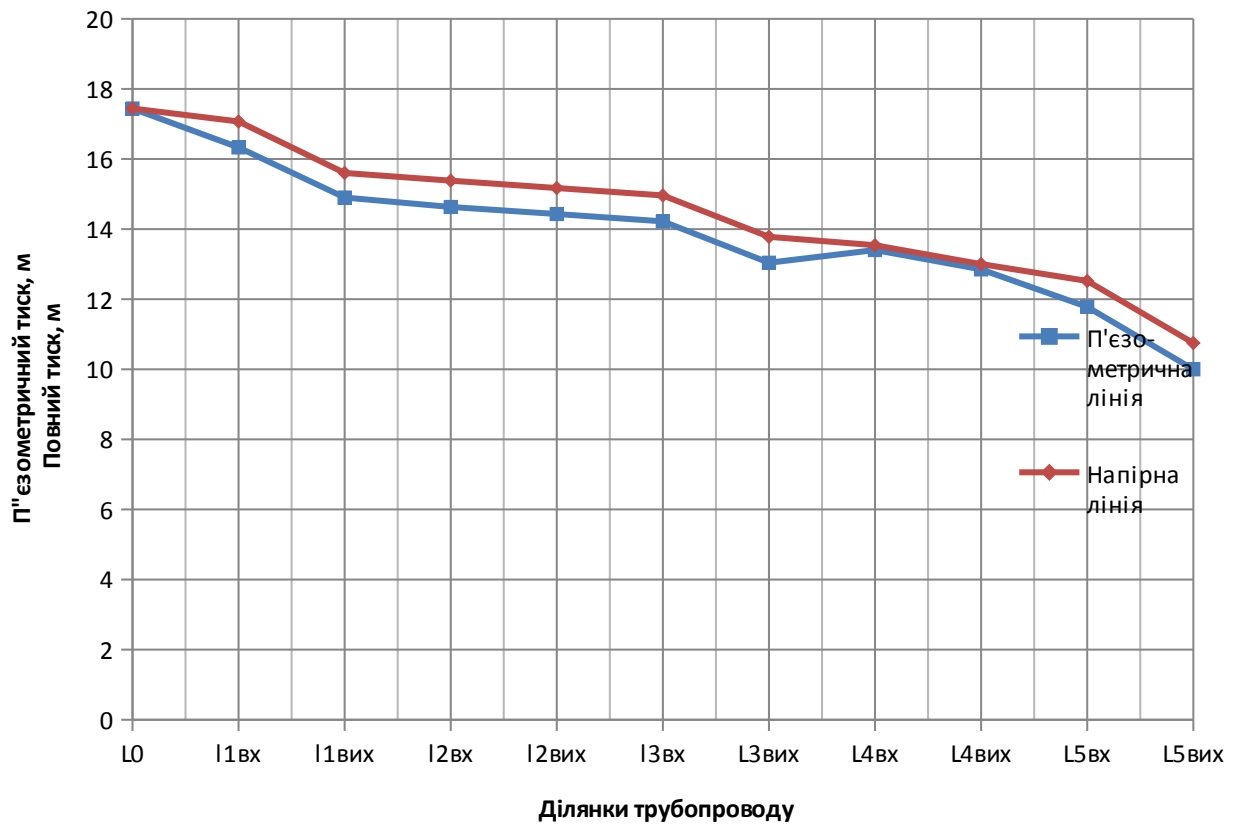


Рисунок 2 – Приклад побудови напірної і п'єзометричної лінії

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Справочник по гидравлике / [Под ред. В. А. Большакова]. – Л. : Высшая школа, 1984. – 343 с.
2. Константинов Ю. М. Гидравлика : учебник / Ю. М. Константинов. – Київ : Вища школа, 1988. – 398 с.
3. Коваленко Ю. Л. Конспект лекцій з дисципліни «Прикладна механіка рідин і газів» для студентів 2 курсу денної та 3 курсу заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.040106 – Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування (професійне спрямування «Екологія та охорона навколишнього середовища», «Екологічна безпека») / Ю. Л. Коваленко, Т. В. Дмитренко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 53 с.

Виробничо-практичне видання

Методичні рекомендації

до виконання
розрахунково-графічного завдання
з навчальної дисципліни

«ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА РІДИН І ГАЗІВ»

*(для студентів I курсу денної та заочної форм навчання
спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього середовища)*

Укладач **КОВАЛЕНКО** Юрій Леонідович

Відповідальний за випуск *Я. О. Герасименко*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2017, поз. 78 М

Підп. до друку 05.03.2018. Формат 60 × 84/16.

Друк на ризографі. Ум. друк. арк.

Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.