

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

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ, ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ
І КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ
З ДИСЦИПЛІНИ**

Технічна механіка рідин та газів

*(для студентів 2 курсу денної та 3 курсу заочної форм навчання,
напрямів підготовки 6.060101 – Будівництво;
6.170202 – Охорона праці; та слухачів другої вищої освіти
спеціальностей «Промислове та цивільне будівництво»
та «Міське будівництво та господарство»)*

Методичні вказівки до самостійної роботи, практичних занять і контрольної роботи з дисципліни "Технічна механіка рідин та газів" (для студентів 2 курсу денної та 3 курсу заочної форм навчання, напрямів підготовки 6.060101 – Будівництво; 6.170202 – Охорона праці; та слухачів другої вищої освіти спеціальностей «Промислове та цивільне будівництво» та «Міське будівництво та господарство») / Харк. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: Д. О. Шушляков – Х.: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2013. – 16 с.

Укладач Д.О. Шушляков

Рецензент В. І. Абеляшев

Затверджено на засіданні кафедри Теплохолодопостачання,
протокол № 9 від 23.06.2011 р.

ЗМІСТ

	Стор.
Вступ.....	4
1. Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни "Технічна механіка рідин та газів".....	4
1.1 Роль навчальної дисципліни у підготовці фахівців.....	4
1.2 Змістові модулі (ЗМ). Джерела та контрольні завдання.....	5
1.3 Засоби контролю знань.....	5
1.4 Критерії оцінювання знань.....	6
2. Методичні вказівки до практичних занять і контрольної роботи з дисципліни "Технічна механіка рідин та газів".....	7
2.1 Практичні заняття. Загальна частина.....	7
2.2 Практичне заняття №1.....	7
2.3 Практичне заняття №2.....	8
2.4 Практичне заняття №3, 4, 5.....	9
2.5 Варіанти завдань для контрольної роботи.....	13
Додатки.....	14
Список джерел.....	15

ВСТУП

Навчальне видання містить дві частини, у яких подано методичні вказівки до самостійної роботи, практичних занять та виконання контрольних робіт студентами.

Перша частина містить методичні вказівки до самостійної роботи, друга частина – до практичних занять та виконання контрольної роботи з дисципліни "Технічна механіка рідин та газів".

1. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ З ДИСЦИПЛІНИ "ТЕХНІЧНА МЕХАНІКА РІДИН ТА ГАЗІВ"

1.1 Роль навчальної дисципліни у підготовці фахівців

Самостійна робота студентів полягає у формуванні професійних умінь та навичок для прийняття рішень під час виконання роботи в реальних умовах, виховує потребу у систематичному поновленні своїх знань та творчому їх застосуванню у практичній діяльності. З цією метою рекомендовано вивчення дисципліни "Технічна механіка рідин та газів".

Мета та завдання дисципліни:

оволодіння необхідним обсягом теоретичних і практичних знань з питань основ розрахунку трубопроводних споруд міст, теплогазопостачання та вентиляції будівель, котелень і пічних облаштувань, теплообмінних та газоочисних апаратів, для вирішення багатьох технічних питань у галузі санітарної техніки, виховання потреби систематичного поновлення своїх знань та творчого їх застосування у практичній діяльності.

Предмет вивчення дисципліни:

основні закони та рівняння гідромеханіки (статики і кінематики), прикладні закони руху рідини, теорії гідравлічних опорів. Основи розрахунку втрат тиску під час руху рідини та газу в мережах (від розробника).

Місце дисципліни у структурно-логічній схемі підготовки фахівця

Перелік дисциплін, на яких безпосередньо ґрунтується вивчення дисципліни	Перелік дисциплін, вивчення яких безпосередньо ґрунтується на цій дисципліні
Загальна фізика	Теплотехніка
Вища математика	Міські інженерні мережі
Теоретична механіка	Опалення
	Вентиляція та кондиціювання повітря
	Теплопостачання та гаряче водопостачання
	Газопостачання
	Експлуатація інженерних мереж

1.2 ЗМІСТОВІ МОДУЛІ (ЗМ)

Модуль 1. Технічна механіка рідин та газів

Змістовий модуль (ЗМ) 1.1. Гідростатика. Основні поняття і визначення руху рідини

1. Гідростатика. Основні фізичні властивості рідин та газів. Загальні диференційні рівняння рівноваги рідин. Абсолютний і надмірний тиск. Вакуум. Закон Паскаля. Тиск рідини на плоскі стінки. Центр тиску. Тиск рідини на криволінійні поверхні. Закон Архімеда. Рівновага газів. Основні рівняння і поверхня рівня. Рівняння поверхні рівня, розподіл тиску та температури в атмосфері.

2. Основні поняття і визначення руху рідини. Рівняння Бернуллі для елементарного струменя рідини, що не стискається. Рівняння Бернуллі для потоку з поперечним перерізом кінцевих розмірів. Рівняння Бернуллі для потоку в'язкої рідини. Гідравлічний нахил. Рівняння кінематики рідини. Методи Лагранжа, Ейлера. Рівняння нерозривності. Рівняння Бернуллі для газів. Відомості про плоскі потенціальні потоки. Потенціал швидкості, функції току, циркуляція швидкості.

3. Гідравлічні опори і рух рідини в напірних трубопроводах. Види гідравлічних опорів. Обробка інформації про гідравлічні опори за допомогою критеріїв подібності.

ЗМ 1.2. Рух рідини у трубах та руслах. Гідравлічні розрахунки тиску та витрат тиску

1. Рівномірний рух рідини у відкритих руслах. Ламінарний і турбулентний рух рідин та газу у трубах; число Рейнольдса. Розподіл швидкостей по поперечному перерізу круглої труби під час ламінарного руху. Турбулентний рух рідин та газів в трубах. Емпіричні формули для коефіцієнта гідравлічного тертя. Формула Дарсі. Місцеві гідравлічні опори. Формула Борда. Формула Вейсбаха. Залежність місцевих опорів від числа Рейнольдса.

2. Гідравлічні розрахунки тиску водних і повітряних потоків на споруди. Розрахунок простих трубопроводів. Загальні формули для розрахунку втрат. Розрахунок складних трубопроводів. Паралельне з'єднання. Кільцевий трубопровід. Проста гілчаста мережа. Гідравлічний удар в трубах. Розрахунок трубопроводів для транспортування газів. Витікання газів з отворів.

3. Відцентрові насоси.

1.3. ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ

Види та засоби контролю	Розподіл балів, %
МОДУЛЬ 1. Поточний контроль змістових модулів	
ЗМ 1.1. Тестування. Тестування здійснюється після закінчення вивчення змістового модуля.	50%
ЗМ 1.2. Тестування. Тестування здійснюється після закінчення вивчення змістового модуля.	50%
Всього за модулем 1.	100%

1.4 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ СТУДЕНТІВ

«Відмінно» – за національною шкалою; «А» (90-100% набраних балів) – за шкалою ECTS – виставляється за наступних умов:

1. Творчий підхід до засвоюваного матеріалу, повнота і правильність виконання завдання

2. Вміння застосовувати різні принципи та методи у конкретних ситуаціях

3. Глибокий аналіз фактів, спроможність прогнозування результатів.

4. Чітке, послідовне викладення матеріалу.

5. Вміння пов'язати теорію з практикою

«Добре» – за національною шкалою; «В» (82-89% набраних балів), «С» (74-81% набраних балів) – за шкалою ECTS – виставляється за наступних умов:

1. Мають місце деякі непринципові помилки несуттєвого характеру у викладенні матеріалу за наявності достатніх знань з теми

2. Переважання логічного підходу, але не творчого у відповідях на питання

3. Подання не завжди правильне прогнозування подій

4. Вміння пов'язати теорію з практикою

«Задовільно» – за національною шкалою; «D» (64-73% набраних балів), «E» (60-63% набраних балів) – за шкалою ECTS – виставляється за наступних умов:

1. Репродуктивний підхід до засвоєння та викладення матеріалу

2. Недостатня повнота викладення матеріалу з обов'язковим виконанням (з несуттєвими помилками) практичних завдань

3. Неглибокі знання основного матеріалу, наявність великої кількості неточностей у викладенні матеріалу

4. Нечітке викладення матеріалу, порушення логічної послідовності у викладенні

5. Утруднення у практичному втіленні прийнятих рішень

«Незадовільно, з можливістю повторного оцінювання» – за національною шкалою; «FX» (35-59% набраних балів) – за шкалою ECTS – виставляється за наступних умов:

1. Відсутність знань з більшої частини матеріалу, погане засвоєння принципових положень курсу

2. Наявність грубих, принципових помилок під час практичного виконання отриманих завдань

«Незадовільно з обов'язковим повторним вивченням» – за національною шкалою; «F» (0-34% набраних балів) – за шкалою ECTS – виставляється за наступних умов:

1. Невиконання або виконання зі значними помилками у тих завданнях, які пов'язані з розв'язанням практичних завдань

2. Неграмотне та неправильне викладення матеріалу

2. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ І КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

2.1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

Метою практичних занять є закріплення знань з дисципліни "Технічна механіка рідин та газів". Виконуючи завдання на практичних заняттях, студенти набувають досвід розрахунків процесів, які відбуваються в газах та рідинах у техніці, навчаються розраховувати та підбирати насоси та вентилятори, розраховувати втрати тиску у каналах під час руху рідини та ін.

2.2 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №1

Властивості рідини

Стискальність краплинних рідин під дією тиску характеризується коефіцієнтом об'ємного стиску β_ω , що є відносною зміною об'єму рідини на одиницю зміни тиску:

$$\beta_\omega = -\frac{1}{W_0} \cdot \frac{\Delta W}{\Delta p}, \quad (1)$$

де W_0 — первісний об'єм рідини;

ΔW — зміна цього об'єму за збільшення тиску на величину Δp .

Коефіцієнт об'ємного стиску в системі СІ має розмірність Па^{-1} .

Знак мінус у формулі (1) обумовлений тим, що позитивному збільшенню тиску p відповідає негативне збільшення (тобто зменшення) обсягу рідини.

Температурне розширення краплинних рідин характеризується коефіцієнтом температурного розширення β_t , що виражає відносне збільшення об'єму рідини за збільшення температури на 1°C , тобто

$$\beta_t = \frac{1}{W_0} \frac{\Delta W}{\Delta T}, \quad (2)$$

де W_0 — початковий об'єм рідини;

ΔW — зміна цього об'єму за підвищення температури на величину ΔT .

Для ідеальних газів справедливе рівняння Клапейрона, що дозволяє визначати щільність газу за відомих тиску і температури, тобто

$$\rho = \frac{p}{RT}, \quad (3)$$

де p — абсолютний тиск; R — питома газова постійна, різна для різних газів, але не залежна від температури і тиску (для повітря $R = 287 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$); T — абсолютна температура.

Щільність повітря при $R = 287 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ у стандартних умовах за формулою (3) буде дорівнювати $\rho = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Щільність повітря за інших умов (ρ) визначають за формулою:

$$\rho = \rho_0 \frac{p}{p_0} \frac{T_0}{T}, \quad (4)$$

де ρ_0 , T_0 , — початкова щільність газу, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Для порівняння величин, які характеризують системи в однакових умовах, вводяться поняття: "нормальні фізичні умови" (н.ф.у.), "нормальні технічні умови" (н.т.у.), "нормальні умови" (н.у.) або "стандартні умови" (ст.у.).

Н.ф.у. — $p = 101,325 \text{ кПа}$ (760 мм рт. ст.); $T = 273,16 \text{ К}$.

Н.т.у. — $p = 98 \text{ кПа}$ (735,6 мм рт. ст.); $T = 288,16 \text{ К}$.

Н.у. (ст. у.) — $p = 101,325 \text{ кПа}$ (760 мм рт. ст.); $T = 293,16 \text{ К}$.

Задача

Визначити коефіцієнт об'ємного стиску β_ω , якщо відомо, що початковий об'єм $W_0=5 \text{ м}^3$, зростання тиску у процесі складає $\Delta p=12 \text{ кПа}$, а зміна об'єму $W=0,05 \text{ м}^3$.

Розв'язання:

Використовуємо формулу (1), тоді: $\beta_\omega = -\frac{1}{W_0} \cdot \frac{\Delta W}{\Delta p} = -\frac{1}{5} \cdot \frac{0,05}{12000} = 8,33 \cdot 10^{-7} \text{ Па}^{-1}$.

2.3 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №2

Число Рейнольдса

Грунтуючись на деяких теоретичних міркуваннях, а також на результатах дослідів, Рейнольдс установив загальні умови, за яких можливе існування ламінарного і турбулентного режимів руху рідини і перехід від одного режиму до іншого. Виявилось, що стан (режим) потоку рідини в трубі залежить від величини безрозмірного числа, яке враховує основні фактори, що визначають цей рух: середню швидкість v , діаметр труби d , щільність рідини ρ і її абсолютну в'язкість μ . Це число (пізніше йому була присвоєна назва числа Рейнольдса) має вигляд:

$$Re = \frac{vd\rho}{\mu} = \frac{vd}{\nu}, \quad (10)$$

Величина d у числі Рейнольдса може бути замінена будь-яким лінійним параметром, пов'язаним з умовами течії чи обтікання (діаметр труби, діаметр кулі, яка падає у рідині, довжина пластинки, яку обтікає рідина та ін.)

Значення числа Рейнольдса, за якого відбувається перехід від ламінарного руху до турбулентного, називають критичним числом Рейнольдса і позначають $Re_{кр}$.

За $Re > Re_{кр}$ режим руху є турбулентним, за $Re < Re_{кр}$ — ламінарним. Величина критичного числа Рейнольдса залежить від умов входу в трубу, шорсткості її стінок, відсутності чи наявності первісних збурень у рідині, конвекційних струмів та ін.

Питання про нестійкість ламінарного руху та його перехід у турбулентний, а також про величину критичного числа Рейнольдса теоретично й експериментально ретельно вивчалось, але й досі не одержало досить повного вирішення.

Задача

Визначити число Рейнольдса для холодної води ($t=20^\circ\text{C}$), яка рухається у трубопроводі діаметром 200 мм, якщо витрата води дорівнює $12 \text{ м}^3/\text{год}$.

Розв'язання:

Переводимо $\text{м}^3/\text{год}$ у $\text{м}^3/\text{с}$: $12/3600=0,0033 \text{ м}^3/\text{с}$.

Розраховуємо площу труби у метрах: $F=(\pi \cdot 0,2^2/4)=0,0314 \text{ м}^2$.

Розраховуємо швидкість води: $v=0,0033/0,0314=0,105 \text{ м/с}$.

За $t=20^\circ\text{C}$ $\nu=1,006 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

$Re=0,105 \cdot 0,2/(1,006 \cdot 10^{-6})=19811 > 10000$ — режим турбулентний.

2.4 ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ № 3, 4, 5

Втрати напору на тертя за рівномірного руху рідини у трубах

Використаємо метод розмірності для визначення втрат напору на тертя, що виникають за рівномірного напірного руху рідини у трубах.

Досліди показують, що величина втрат напору на тертя $h_{тр}$ за руху рідини в трубах може залежати від таких факторів:

- діаметра труби d і її довжини l ;
- фізичних властивостей рідини (щільності ρ і в'язкості μ);
- середньої швидкості руху в трубі v ;
- середньої висоти виступів шорсткості k на стінках труби.

Напишемо функціональну залежність у вигляді

$$\Delta p_{тр} = f(v, d, \mu, \rho, k, l), \quad (11)$$

де $\Delta p_{тр}$ – втрати тиску на довжині потоку, яка дорівнює l , – пов'язані із втратою напору формулою

$$\Delta p_{тр} = \rho g h_{тр}. \quad (12)$$

Вид функції f у рівнянні (11) невідомий.

Перепишемо рівняння (11) у вигляді

$$f_1 \left(\frac{\Delta p_{тр}}{l}, \mu, \rho, d, v, k \right) = 0, \quad (13)$$

враховуючи, що втрата на тертя завжди прямо пропорційна довжині розглянутої ділянки.

Для виміру вхідних у формулу (13) $n = 6$ величин вимагаються $m=3$ основні одиниці: маса, час і довжина.

Рівняння (13) може бути подане у вигляді формули, що містить $n-m=3$ безрозмірних відносин (чисел Пі відповідно до Пі-теорему), тобто замість (13) можна записати

$$f_2(\pi_1, \pi_2, \pi_3) = 0, \quad (14)$$

де π_1, π_2, π_3 – безрозмірні комплекси.

Для визначення чисел π_1, π_2, π_3 виберемо з усіх змінних три (за числом основних одиниць виміру), що включають усі основні одиниці виміру, наприклад v, d і ρ . Складемо тепер рівняння розмірностей, що поєднують обрані змінні із кожною з інших змінних по черзі, тобто

$$\pi_1 = d^{x_1} v^{y_1} \rho^{z_1} \mu \quad (15)$$

$$\pi_2 = d^{x_2} v^{y_2} \rho^{z_2} \frac{\Delta p_{тр}}{l} \quad (16)$$

$$\pi_3 = d^{x_3} v^{y_3} \rho^{z_3} k \quad (17)$$

У виразах для π_1, π_2, π_3 потрібно підібрати показники при d, v і ρ таким чином, щоб числа π не мали розмірності.

Неважко показати (перевіривши розмірності), що

$$\pi_1 = \frac{vd\rho}{\mu} \quad (18)$$

$$\pi_2 = \frac{d \frac{\Delta p_{тр}}{l}}{v^2 \rho} \quad (19)$$

$$\pi_3 = \frac{k}{d} \quad (20)$$

Так, для числа π_3 і з умови однорідності розмірностей

$$L^{x_3} (LT^{-1})^{y_3} (ML^{-3})^{z_3} L = L^0 T^0 M^0 .$$

Звідси випливають такі рівняння:

за L: $x_3 + y_3 - 3z_3 + 1 = 0$,

за T: $-y_3 = 0$,

за M: $z_3 = 0$, тобто $x_3 = -1$ і $\pi_3 = k/d$.

Підставляючи формули (18) — (20) у (14), маємо:

$$f_2 \left(\frac{vd\rho}{\mu}; \frac{\frac{\Delta p_{mp}}{l} d}{v^2 \rho}; \frac{k}{d} \right) = 0 .$$

Оскільки нас цікавить втрата напору, то вирішуємо це рівняння відносно π_2 :

$$\frac{d \frac{\Delta p_{mp}}{l}}{v^2 \rho} = \varphi \left(\frac{vd\rho}{\mu}; \frac{k}{d} \right) \quad \text{Або} \quad \Delta p_{mp} = \frac{v^2 \rho l}{d} \varphi \left(\frac{vd\rho}{\mu}; \frac{k}{d} \right) \quad (21)$$

З огляду на формулу (11) маємо:

$$h_{mp} = \frac{\Delta p_{mp}}{\rho g} = \frac{v^2 l}{gd} \varphi \left(\frac{vd\rho}{\mu}; \frac{k}{d} \right) ,$$

чи, позначивши

$$\varphi \left(\frac{vd\rho}{\mu}; \frac{k}{d} \right) = \frac{\lambda}{2} , \quad (22)$$

де λ - безрозмірне число (мова про яке буде йти нижче),
остаточно одержимо:

$$h_{mp} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} . \quad (23)$$

З формули (23) випливає, що втрата напору на тертя за руху рідини у трубі зростає зі збільшенням середньої швидкості потоку і довжини розглянутої ділянки труби та обернено пропорційна її діаметру. Крім того, у формулу (23) входить невідомий безрозмірний коефіцієнт λ – так званий коефіцієнт гідравлічного тертя. Ця формула була отримана в XIX ст. емпіричним шляхом і називається *формулою Дарсі – Вейсбаха*.

Наведений метод можна використовувати також для визначення виду формули втрат напору на місцеві опори. У цьому разі, враховуючи, що місцеві втрати практично не залежать ні від довжини ділянки труби, ні від її діаметра, неважко одержати формулу

$$h_m = \zeta \frac{v_2^2}{2g} , \quad (24)$$

де ζ - безрозмірний коефіцієнт, так званий коефіцієнт місцевих втрат; v_2 - швидкість потоку після проходження через місцевий опір.

Формулу (24), отриману в XIX ст. емпіричним шляхом, називають *формулою Вейсбаха*.

Втрати напору на тертя у круглій трубі

Знайдемо втрати напору на тертя за ламінарного руху рідини у круглій трубі.

З урахуванням $v_{cp} = \frac{Q}{\omega} = \frac{\pi \gamma i r^4}{8 \mu \pi r^2} = \frac{\gamma i}{8 \mu} r^2$ можна одержати вираз для гідравлічного ухилу у вигляді

$$i = \frac{8 \mu v_{cp}}{\gamma r^2} = \frac{32 \mu}{\gamma d^2} v_{cp}$$

або

$$h_{mp} = i l = \frac{32 \mu l v_{cp}}{\gamma d^2} . \quad (25)$$

Заміняючи абсолютну в'язкість μ через кінематичну ν , одержуємо формулу, названу *формулою Пуазейля – Гагена*, для втрат напору при ламінарному русі:

$$h_{mp} = \frac{32 \nu l v_{cp}}{g d^2} . \quad (26)$$

Ця формула показує, що втрати напору на тертя за ламінарного режиму пропорційні середній швидкості руху. Ці втрати не залежать від стану внутрішньої поверхні стінок труби, тому що характеристика стану стінок у формулу (26) не входить. Відсутність впливу стінок на опір можна пояснити тим, що рідина прилипає до стінок, у результаті чого відбувається тертя рідини об рідину, а не рідини об стінку.

Зіставляючи формулу (26) із загальною залежністю для втрат напору на тертя, що має вигляд

$$h_{mp} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} ,$$

знайдемо:

$$\lambda = \frac{64 \nu}{v d} = \frac{64}{Re} . \quad (27)$$

Звідси випливає, що за ламінарного режиму коефіцієнт гідравлічного тертя обернено пропорційний числу Рейнольдса.

Отримані залежності з великою точністю підтверджуються численними дослідями з рухом різних рідин в умовах ламінарного режиму. Тим самим знаходять підтвердження і зроблені в процесі висновків про ці залежності допущення щодо застосування закону Ньютона для ламінарного руху і про те, що швидкість біля стінки дорівнює нулю. В інженерній практиці з ламінарним режимом часто доводиться мати справу за руху в трубах рідин з підвищеною в'язкістю (нафта, гас, мастила та ін.).

З формули (26) випливає, що втрати напору за ламінарного режиму прямо пропорційні в'язкості рідини. Тому іноді для підвищення пропускної здатності нафтопроводів нафту в холодну погоду підігрівають, через що зменшується її в'язкість, а отже, і втрати напору. Отримані залежності вимагають внесення до них виправлень за руху зі значним теплообміном, тобто у випадках, якщо рух рідини супроводжується її нагріванням чи охолодженням.

Часто замість гідравлічного радіуса використовують так званий еквівалентний (чи гідравлічний) діаметр:

$$d_{екв} = 4R = 4 \frac{\omega}{\chi}.$$

Нагадаємо, що для круглих труб еквівалентний діаметр дорівнює їхньому геометричному діаметру: $d_{екв} = d$.

Заміняючи у формулі Дарсі для втрати напору діаметр гідравлічним радіусом чи еквівалентним діаметром, одержуємо вираз:

$$h_{mp} = \frac{\lambda}{4} \cdot \frac{l}{R} \cdot \frac{v^2}{2g} = \lambda \frac{l}{d_{екв}} \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (28)$$

який принципово придатний для розрахунку труб будь-якого поперечного перерізу.

Однак у формулі (28) коефіцієнт λ залежить уже не тільки від числа Рейнольдса, але і від форми перерізу труби.

За ламінарного руху коефіцієнт λ у трубах некругового перерізу значно зростає у порівнянні з рухом у круглій трубі (за того ж числа Рейнольдса) і може бути виражений формулою

$$\lambda = \frac{A}{Re_{\Pi}}, \quad (29)$$

де Re_{Π} - число Рейнольдса, обчислене за еквівалентним діаметром;

$$Re_{\Pi} = \frac{4vR}{\nu} = \frac{vd_{екв}}{\nu},$$

де A – коефіцієнт форми, чисельні значення якого залежать від форми перерізу.

За турбулентного руху для гідравлічно гладких труб широко застосовується формула Блазіуса, а для цілком шорсткуватих труб – формула Б. Л. Шифрінсона [1-3].

Задача

Визначити втрати тиску у трубопроводі діаметром $d=0,9$ м, за витрати рідини $G=0,001$ м³/с, з умовою, що труби сталеві нові (рис. 1):

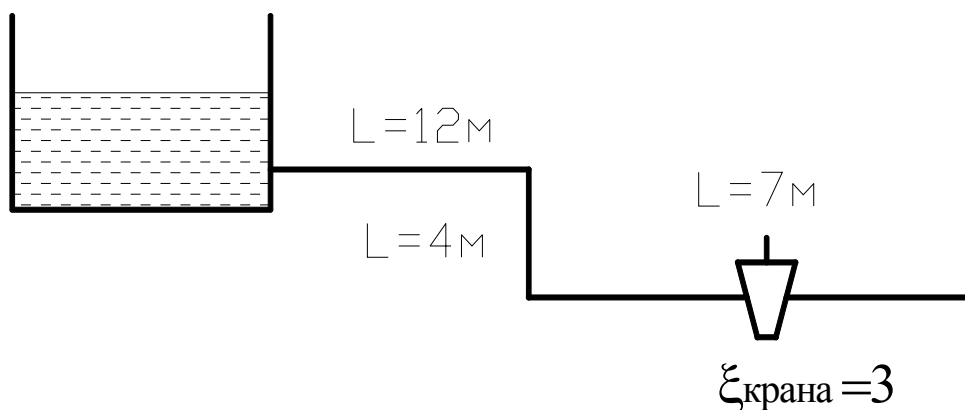


Рис. 1 – Схема трубопроводу

Розв'язання:

Розраховуємо швидкість $v=G/F$, м/с. $v=0,001/(\pi \cdot 0,9^2/4)=0,0016$ м/с. Використовуємо формулу $Re = vd/\nu=0,0016 \cdot 0,9/(1,006 \cdot 10^{-6})=1431$ – режим руху – ламінарний.

Для визначення коефіцієнту гідравлічного тертя використовуємо формулу (27):

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} = \frac{64}{1431} = 0,045;$$

$$\text{Витрати тиску на тертя: } h_{\text{тр}} = \lambda \frac{1}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,045 \cdot \frac{23}{0,9} \cdot \frac{0,0016^2}{2 \cdot 9,81} = 1,5 \cdot 10^{-7} \text{ кгс/м}^2.$$

Для визначення витрат тиску на місцеві опори (коефіцієнти місцевого опору: коліно 1,1; вхід 0,5 [3]):

$$h_{\text{м}} = \sum \zeta \left(\frac{v^2}{2g} \right) = (3 + 1,1 + 1,1 + 0,5) \frac{0,0016^2}{2 \cdot 9,81} = 7,4 \cdot 10^{-7} \text{ кгс/м}^2.$$

$$\text{Втрати тиску } \Delta P = (1,5 + 7,4) \cdot 10^{-7} = 8,9 \cdot 10^{-7} \text{ кгс/м}^2.$$

2.5 ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Задача №1

Визначити кінцевий об'єм газу, якщо відомо, що початковий об'єм $W_0 = x \text{ м}^3$, зріст тиску у процесі складає: $\Delta p = y \text{ кПа}$.

Варіанти завдання:

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
x	10	50	120	80	130	60	90	40	70	20
y	5	6,7	3,1	9,6	5,8	4,2	9,5	8,8	6,4	1,2
z	5	5,9	6,4	8,2	8	3,9	6,6	2,9	7	4

Задача №2

Визначити число Рейнольдса для холодної води $t = 20^\circ\text{C}$, яка рухається у двох перерізах трубопроводу, а також діаметр другої частини труби d_2 , якщо $d_1 = x \text{ мм}$, а витрата рідини дорівнює $G = g \text{ л/год}$, швидкість у другому перерізі $v_2 = y \text{ мм/год}$.

Варіанти завдання:

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
x	50	72	65	100	90.2	130	50	40	72	65
g	2500	2800	1900	3600	2800	4100	1600	1200	2300	2900
y	$4 \cdot 10^9$	$9 \cdot 10^8$	$6 \cdot 10^9$	$7 \cdot 10^8$	$4 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^9$	$3 \cdot 10^8$	$9 \cdot 10^9$	$6 \cdot 10^8$	$9 \cdot 10^7$

Задача №3

Визначити втрати тиску у трубопроводі (рис. 2) діаметром $d_1 = x \text{ мм}$, $d_2 = y \text{ мм}$, $d_3 = z \text{ мм}$, якщо $G_1 = g \text{ дм}^3/\text{год}$, $G_2 = h \text{ л/год}$, за умови, що по трубах рухається вода з температурою $t = 10^\circ\text{C}$ (довжина ділянок зазначена у метрах), труби цілком шорсткі.

Варіанти завдання:

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
x	50	72	65	100	90.2	130	50	40	72	65
y	32	40	40	60	72	72	32	25	40	25
z	15	20	25	32	15	40	25	25	15	32
g	25000	28000	19000	36000	28000	41000	16000	12000	23000	29000
h	12000	18000	16000	22000	26000	24000	9000	6500	18000	14000

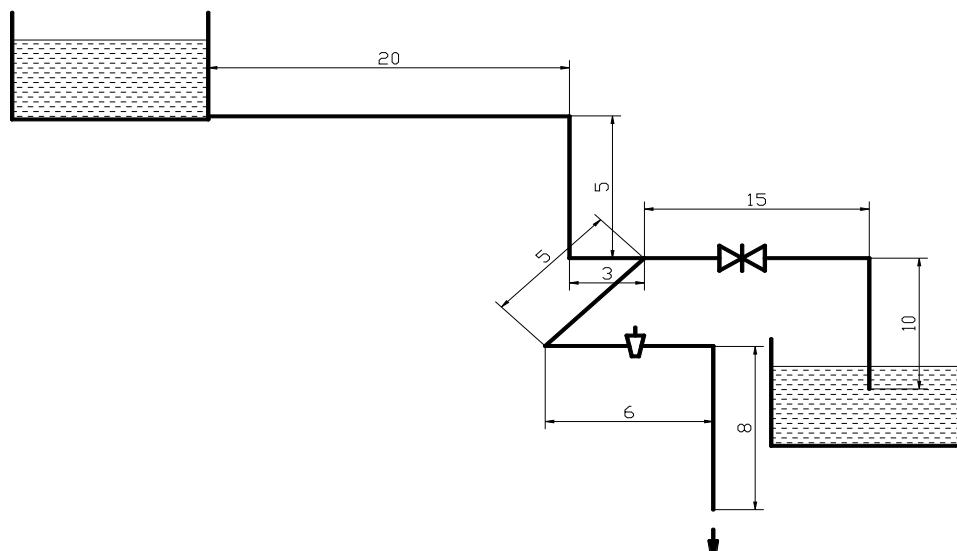


Рис. 2 – Схема до задачі №3

ДОДАТКИ

Таблиця Д.1 – Зв'язок одиниць тиску в системі СІ з деякими іншими системами виміру

Одиниці тиску	Па	бар	кгс/м ²	кгс/см ²	мм рт. ст.	мм вод. ст.
Па	1	10 ⁻⁵	0,1	~10 ⁻⁵	0,0075	~0,1
бар	10 ⁵	1	~10 ⁶	~1	~750	~10200
кгс/м ²	~10	~10 ⁻⁶	1	~10 ⁻⁴	0,0735	~1
кгс/см ²	~10 ⁵	~1	10 ⁴	1	~735	10 ⁴
мм рт. ст.	133,3	1,33*10 ⁻³	~13,6	1,36*10 ⁻³	1	13,6
мм вод. ст.	~10	10 ⁻⁴	~1	10 ⁻⁴	0,0735	1

Таблиця Д.2 – Теплофізичні параметри води

t, °	ρ, кгс/см ²	γ, кгс/м ³	c _p , кДж/(кг К)	λ·10 ⁻² , Вт/(м К)	α·10 ⁻⁸ , м ² /с	ν·10 ⁻⁶ , м ² /с	Pr
1	2	3	4	5	6	7	8
0	1,033	999,9	4,217	0,5610	13,1	1,789	13,67
10	1,033	999,7	4,193	0,5800	13,7	1,306	9,52
20	1,033	998,2	4,182	0,5984	14,3	1,006	7,02
30	1,033	995,7	4,179	0,6154	14,9	0,805	5,42
40	1,033	992,2	4,179	0,6305	15,3	0,659	4,31
50	1,033	988,1	4,182	0,6435	15,7	0,556	3,54
60	1,033	983,2	4,185	0,6543	16,0	0,478	2,98
70	1,033	977,8	4,190	0,6631	16,3	0,415	2,55
80	1,033	971,8	4,197	0,6700	16,6	0,365	2,21
90	1,033	965,3	4,205	0,6753	16,8	0,326	1,95
100	1,033	958,4	4,216	0,6791	16,9	0,295	1,75
110	1,459	951,0	4,233	0,6850	17,0	0,272	1,60
120	2,02	943,1	4,240	0,6860	17,1	0,252	1,47

Таблиця Д.3 – Кінематична і динамічна в'язкість деяких краплинних рідин (при $t=20^{\circ}\text{C}$)

Рідина	μ , Па·с	$\nu \times 10^4$ м ² /с
Гліцерин безводний	0,512	4,1
Гас (при 15° С)	0,0016—0,0025	0,02—0,03
Бензин (при 15° С)	0,0006—0,00065	0,0083—0,0093
Олія касторова	0,972	10,02
» мінеральна	0,0275—1,29	0,313—14,5
Нафта при 15° С ($\delta_4^{15} = 0,86$)	0,007—0,008	0,081—0,093
Ртуть	0,0015	0,00111
Спирт етиловий безводний	0,00119	0,0151

Таблиця Д.4 – Значення кінематичної в'язкості ν і питомої газової постійної R для деяких газів

Газ	$\nu \cdot 10^4$, м ² /с за температури в °С				R , Дж/(кг·К)
	0	20	50	100	
Повітря	0,133	0,151	0,178	0,232	287
Метан	0,145	0,165	0,197	0,256	520
Етилен	0,075	0,086	0,104	0,138	296

Таблиця Д.5 – Значення коефіцієнта об'ємного стиску води за різних температур і тисків

t °С	$\beta_{\omega} \cdot 10^2$, Па ⁻¹ за тисків у Па·10 ⁴				
	50	100	200	390	780
0	5,4	5,37	5,31	5,23	5,15
5	5,29	5,23	5,18	5,08	4,93
10	5,23	5,18	5,08	4,98	4,81
15	5,18	5,1	5,03	4,88	4,7
20	5,15	5,05	4,95	4,81	4,6

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Шушляков Д.О. Технічна механіка рідин і газів. – Харків: ХНАМГ, 2006. – 78 с.
2. Альтшуль А.Д., Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика. – М.: Госстройиздат. 1975. 273 с.
3. Альтшуль А.Д., Калицун В.И. Гидравлические сопротивления трубопроводов. – М., 1964. 255 с.

Навчальне видання

Методичні вказівки

до самостійної роботи, практичних занять і контрольної роботи з дисципліни

"Технічна механіка рідин та газів"

(для студентів 2 курсу денної та 3 курсу заочної форм навчання, напрямів підготовки 6.060101 – Будівництво; 6.170202 – Охорона праці; та слухачів другої вищої освіти спеціальностей «Промислове та цивільне будівництво» та «Міське будівництво та господарство»)

Укладач: **Шушляков** Дмитро Олександрович

Відповідальний за випуск *О. В. Бабловський*

Редактор *О. А. Норик*

Комп'ютерне верстання *К. А. Алексанян*

План 2011, поз. 28 М

Підп. до друку 11.03.2013

Друк на різнографі

Зам. №

Формат 60×84/16

Ум. друк. арк. 0,94

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rektorat@ksame.kharkov.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК №4064 від 12.05.2011 р.