

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

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійної роботи, практичних занять
та виконання розрахунково-графічного завдання
з дисципліни

ТЕХНІЧНА МЕХАНІКА РІДИН І ГАЗІВ

*(для студентів 2 курсу денної форми навчання
напряму підготовки 6.170202 "Охорона праці")*

Харків
ХНУМГ
2014

Методичні вказівки до самостійної роботи, практичних занять та виконання розрахунково-графічного завдання з дисципліни "Технічна механіка рідин і газів" (для студентів 2 курсу денної форми навчання напряму підготовки 6.170202 "Охорона праці") / Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: Д. О. Шушляков. – Х.: ХНУМГ, 2014. – 20 с.

Укладач: к.т.н., доц. Д. О. Шушляков

Рецензент: к.т.н., доц. В. І. Абєлєшев

Рекомендовано кафедрою ТХП,
протокол № 3 від «10» жовтня 2012 р.

ЗМІСТ

	Стор.
Вступ	4
1. Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни "Технічна механіка рідин і газів" (для студентів 2 курсу денної форми навчання напряму підготовки 6.170202 "Охорона праці")	5
1.1 Роль навчальної дисципліни у підготовці фахівців	5
1.2 Змістові модулі (ЗМ), джерела і контрольні завдання	6
1.3 Засоби контролю	7
1.4 Критерії оцінки знань	7
2. Методичні вказівки до практичних занять та виконання розрахунково-графічного завдання з дисципліни «Технічна механіка рідин і газів» (для студентів 2 курсу денної форми навчання напряму підготовки 6.170202 «Охорона праці»)	9
2.1 Загальна частина	9
2.2 Практичне заняття №1	9
2.3 Практичне заняття №2	10
2.4 Практичне заняття №3, 4, 5	11
2.5 Варіанти завдань для розрахунково-графічної роботи	16
Додатки.....	18
Список джерел	19

Вступ

Це навчальне видання для вивчення дисципліни "Технічна механіка рідин і газів" (для студентів 2 курсу денної форми навчання напряму 6.170202 "Охорона праці") містить дві частини, в яких наведено методичні вказівки до самостійної роботи студентів, до практичних занять та виконання розрахунково-графічного завдання.

Перша частина включає методичні вказівки до самостійної роботи студентів з дисципліни "Технічна механіка рідин і газів".

Друга частина містить методичні вказівки до практичних занять та виконання розрахунково-графічного завдання з дисципліни "Технічна механіка рідин та газів".

**1. Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни
"Технічна механіка рідин і газів" (для студентів 2 курсу денної форми
навчання напряму підготовки 6.170202 "Охорона праці")**

1.1 Роль навчальної дисципліни у підготовці фахівців

Самостійна робота студентів полягає у формуванні професійних вмінь і навичок для прийняття самостійних рішень під час роботи в реальних умовах, виховання потреби в систематичному поновленні своїх знань та творчому їх застосуванні у практичній діяльності. З цією метою рекомендовано інформаційно-методичне забезпечення, що наводиться далі.

Мета і завдання вивчення дисципліни

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

Предмет вивчення дисципліни

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

Місце дисципліни в структурно-логічній схемі підготовки фахівця

Перелік дисциплін, на які безпосередньо спирається вивчення цієї дисципліни	Перелік дисциплін, вивчення яких безпосередньо спирається на цю дисципліну
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 і газів

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

1. Гідростатика. Основні фізичні властивості рідини і газів. Загальні диференційні рівняння рівноваги рідини. 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 і температури в атмосфері.

2. Основні поняття і визначення руху рідини. Рівняння Бернуллі для елементарного струменя нестискаємої рідини. Рівняння Бернуллі для потоку з поперечним перерізом кінцевих розмірів. Рівняння Бернуллі для течії 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 рідини і газу в трубах; число Рейнольдса. Розподіл швидкостей по поперечному перерізу круглої труби при ламінарному русі. Турбулентний рух рідини і газу 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 зі змістових модулів	
ЗМ 1.1 Тестування. Тестування здійснюється після закінчення вивчення змістового модуля	30%
ЗМ 1.2 Тестування. Тестування здійснюється після закінчення вивчення змістового модуля	30%
Екзамен	40%
Всього за модулем 1	100%

1.4 Методи та критерії оцінювання знань

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

1. Творчий підхід до засвоювання матеріалу, повнота і правильність виконання завдання.
2. Вміння застосовувати різні принципи й методи в конкретних ситуаціях.
3. Глибокий аналіз фактів та подій, спроможність прогнозування результатів від прийнятих рішень.
4. Чітке, послідовне викладання відповіді на папері.
5. Вміння пов'язати теорію і практику.

«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 викладанні відповідей при повних знаннях програмного матеріалу.
2. Переважання логічних підходів перед творчими у відповідях на питання.
3. Не завжди правильне прогнозування подій від прийнятих рішень.
4. Вміння пов'язати теорію з практикою.

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

1. Репродуктивний підхід до засвоювання і викладання матеріалу.
2. Недостатня повнота викладання матеріалу, але при обов'язковому виконанні (можливо з несуттєвими помилками) тих завдань, що пов'язані з розв'язанням практичних задач.
3. Неглибокі знання основного матеріалу, наявність великої кількості неточностей у викладанні матеріалу.
4. Нечітке викладання матеріалу на папері, порушення логічної послідовності при викладанні матеріалу.

5. Труднощі при 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 переважної частини матеріалу, погане засвоєння принципів положень курсу.
2. Наявність грубих, принципових помилок при практичному виконанні 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 з великими помилками тих завдань, що пов'язані з розв'язанням практичних задач.
2. Неграмотне і неправильне викладання відповідей на папері.

**2. Методичні вказівки до практичних занять та виконання
розрахунково-графічного завдання
з дисципліни "Технічна механіка рідин і газів"
(для студентів 2 курсу денної форми навчання напряму підготовки
6.170202 "Охорона праці")**

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 у газах та рідинах у техніці, навчаються розраховувати та підбирати насоси та вентилятори, розраховувати втрати тиску у каналах при русі рідини, тощо.

2.2 Практичне заняття №1

Властивості рідини

Стискальність краплинних рідин під дією тиску характеризується коефіцієнтом об'ємного стискання β_ω , що становить собою відносну зміну 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 при збільшенні тиску на величину Δp .

Коефіцієнт об'ємного стискання 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 при збільшенні 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 при підвищенні температури на величину ΔT .

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

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

де p — абсолютний тиск; R — питома газова постійна, різна для різних газів, але незалежна 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 при інших умовах (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, кг/м³,

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.).

Н. ф. у. – $p=101,325$ кПа (760 мм рт. ст.); $T=273,16$ К.

Н. т. у. – $p=98$ кПа (735,6 мм рт. ст.); $T=288,16$ К.

Н. у. – $p=101,325$ кПа (760 мм рт. ст.); $T=293,16$ К.

Задача

Визначити коефіцієнт об'ємного стискання β_ω , якщо відомо, що початковий об'єм $W_0=5$ м³, зростання тиску у процесі складає $\Delta p=12$ кПа, а зміна об'єму складає $W=0,05$ м³.

Приклад рішення:

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, при яких можливі 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 падаючої в рідині кулі, довжина обтічної рідиною пластинки та ін.)

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

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

Питання про нестійкість ламінарного руху і його перехід в турбулентний, а також про величину критичного числа Рейнольдса ретельно теоретично й експериментально 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 $12 \text{ м}^3/\text{год}$.

Приклад рішення:

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

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

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

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

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

2.4 Практичне заняття № 3, 4, 5

Втрати напору на тертя при рівномірному русі рідини в трубах

Використаємо метод розмірності для визначення втрат напору на тертя, що виникають при рівномірному напірному русі рідини в трубах.

Досліди показують, що величина втрат напору на тертя $h_{\text{тр}}$ при русі 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

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

де $\Delta p_{\text{тр}}$ — втрати тиску на довжині потоку, яка дорівнює l , зв'язані з втратою напору формулою

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

Вид функції f у рівнянні (11) невідомий.

Перепишемо рівняння (11) у вигляді

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

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 формі, 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 (по числу основних одиниць виміру), що включають всі основні одиниці виміру, наприклад v, d і ρ . Складемо тепер рівняння розмірностей, що поєднують обрані змінні з кожною з інших змінних по черзі, тобто

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

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

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

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

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

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

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

Так, для числа π_3 і з умови однорідності розмірностей одержуємо

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

Звідси випливають такі рівняння:

$$\text{при } L: x_3 + y_3 - 3z_3 + 1 = 0$$

$$\text{при } T: -y_3 = 0,$$

$$\text{при } M: z_3 = 0, \text{ тобто } x_3 = -1 \text{ і } \pi_3 = k/d.$$

Підставляючи (18) – (20) у (14), маємо

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

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

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

Або

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

З огляду на формулу (11) маємо,

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

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

$$h_{\text{тр}} = \lambda \frac{1}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} . \quad (23)$$

З формули (23) випливає, що втрата напору на тертя при русі рідини в трубі зростає зі збільшенням середньої швидкості потоку і довжини розглянутої ділянки труби і 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 в круглій трубі

Знайдемо втрати напору на тертя при ламінарному русі рідини в 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

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

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

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

Ця формула показує, що втрати напору на тертя при ламінарному режимі 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

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

знайдемо

$$\lambda = \frac{64\nu}{vd} = \frac{64}{\text{Re}} . \quad (27)$$

Звідси випливає, що при ламінарному режимі коефіцієнт гідравлічного тертя обернено пропорційний числу Рейнольдса.

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

З формули (26) видно, що втрати напору при ламінарному режимі прямо пропорційні в'язкості рідини. Тому іноді для підвищення пропускної здатності нафтопроводів нафту в холодну погоду підігрівають, завдяки чому зменшується її в'язкість, а отже, і втрати напору. Отримані залежності вимагають внесення в них виправлень при рухах 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

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

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

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

$$h_{\text{тр}} = \frac{\lambda}{4} \cdot \frac{1}{R} \cdot \frac{v^2}{2g} = \lambda \frac{1}{d_{\text{екв}}} \cdot \frac{v^2}{2g} , \quad (28)$$

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.

При ламінарному русі коефіцієнт λ у трубах некругового перерізу значно зростає в порівнянні з рухом у круглій трубі (при тому самому числі Рейнольдса) і може бути виражений формулою:

$$\lambda = \frac{A}{\text{Re}_{\Pi}} , \quad (29)$$

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

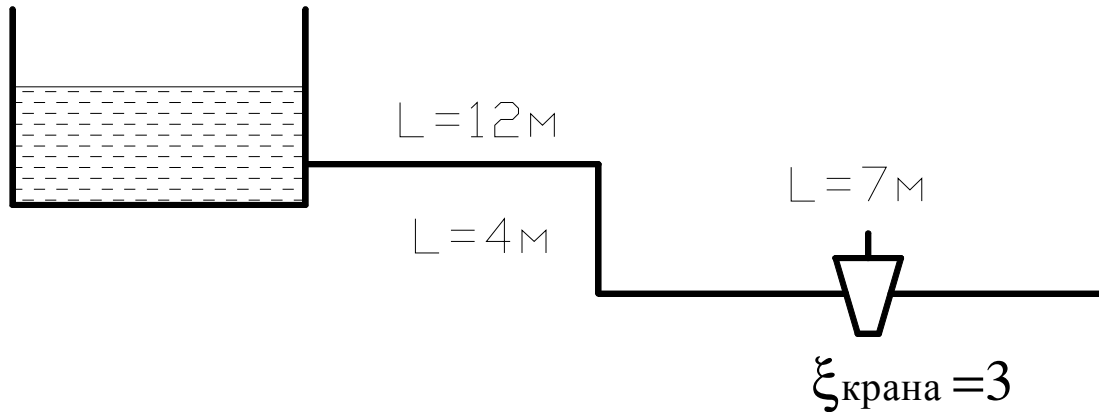
$$\text{Re}_{\Pi} = \frac{4vR}{\nu} = \frac{vd_{\text{екв}}}{\nu} ,$$

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

Для гідравлічногладеньких труб велике поширення одержала формула Блазіуса, а для цілком шорсткуватих труб – формула Б. Л. Шифрінсона [1-3].

Задача

Визначити втрати тиску у трубопроводі діаметром $d=0,9$ м, при витраті рідини $G=0,001$ м³/с за умови, що труби сталеві нові (див. рис.).



Приклад рішення:

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 коефіцієнта гідравлічного тертя використовуємо формулу (27):

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

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

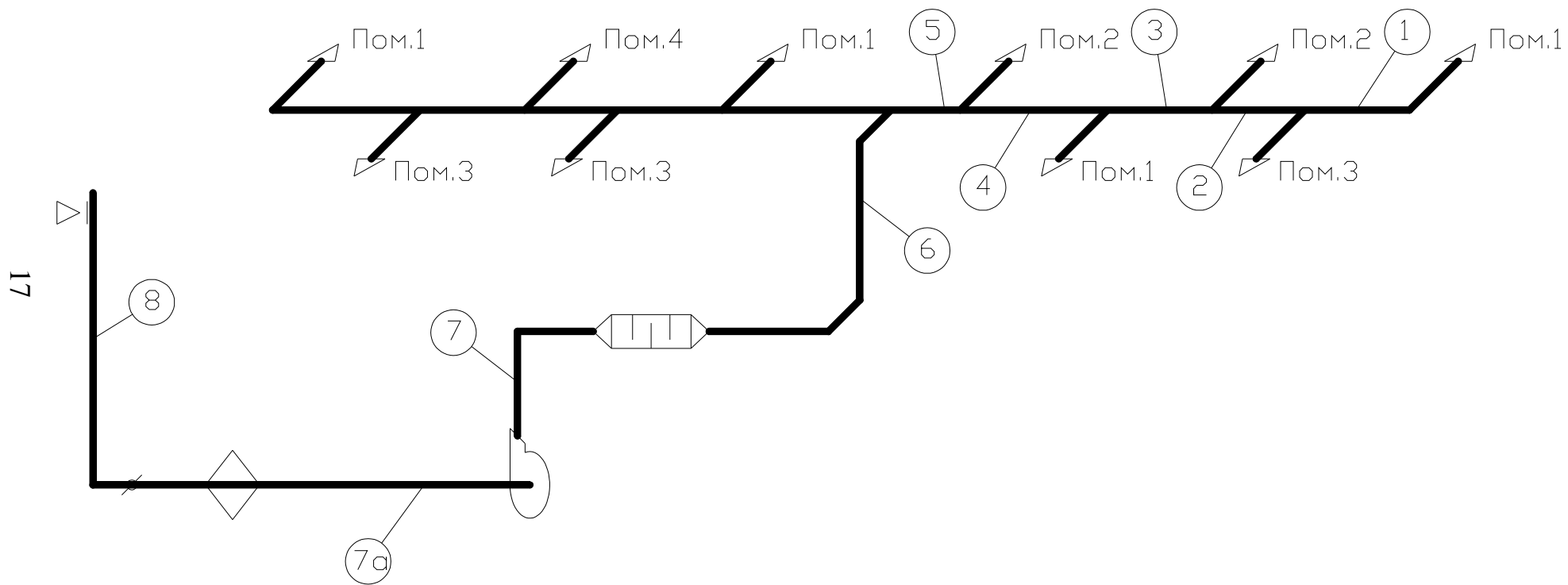
Для визначення витрат тиску на місцеві опори (коефіцієнти місцевого опору: коліно 1,1; вхід 0,5):

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

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

2.5 Варіанти завдань на розрахунково-графічну роботу

Варіант	l_1 , м	l_2 , м	l_3 , м	l_4 , м	l_5 , м	l_6 , м	l_7 , м	l_{7a} , м	l_8 , м	Кількість людей у приміщенні			
										пом. 1	пом. 2	пом. 3	пом. 4
1	5	3	4	5	7	12	10	11	12	10	5	7	11
2	6	5	6	5	6	15	9	16	11	9	6	8	11
3	7	7	8	5	4	11	7	13	13	8	7	9	10
4	8	2	3	5	3	9	12	15	11	7	8	7	10
5	3	6	4	5	7	11	15	12	12	11	5	8	12
6	4	4	9	5	8	13	11	17	11	10	5	9	12
7	5	3	4	5	7	12	13	18	13	10	5	7	11
8	5	5	6	5	6	15	14	16	11	9	6	8	11
9	6	7	8	5	4	11	10	14	12	8	6	9	10
10	7	2	3	5	3	9	9	12	11	7	6	7	10
11	8	6	4	5	7	11	7	9	13	11	7	8	12
12	3	4	9	5	8	13	12	10	11	10	7	9	12
13	4	3	4	5	7	12	15	11	12	10	5	7	11
14	5	5	6	5	6	15	11	16	11	9	6	8	11
15	6	7	8	5	4	11	13	13	13	8	7	9	10
16	7	2	3	5	3	9	14	15	11	7	8	7	10
17	8	6	4	5	7	11	10	12	12	11	5	8	12
18	3	4	9	5	8	13	9	17	11	10	5	9	12
19	4	3	4	5	7	12	7	18	13	10	5	7	11
20	5	5	6	5	6	15	12	16	11	9	6	8	11
21	6	7	8	5	4	11	15	14	12	8	6	9	10
22	7	2	3	5	3	9	11	12	11	7	6	7	10
23	8	6	4	5	7	11	13	9	13	11	7	8	12
24	3	4	9	5	8	13	14	10	11	10	7	9	12



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°С)

Рідина	μ, Па·с	ν м ² /с
Гліцерин безводний	0,512	0,0041
Гас (при 15° С)	0,0016-0,0025	0,000002-0,000003
Бензин (при 15° С)	0,0006-0,00065	0,00000083-0,00000093
Олія касторова	0,972	0,01002
» мінеральна	0,0275-1,29	0,0000313-0,0145
Нафта при 15° С (δ ₄ ¹⁵ = 0,86)	0,007-0,008	0,0000081-0,0000093
Ртуть	0,0015	0,000000111
Спирт етиловий безводний	0,00119	0,00000151

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

Газ	$\nu, \text{м}^2/\text{с}$ при температурі в $^{\circ}\text{C}$				$R,$ Дж/(кг·К)
	0	20	50	100	
Повітря	0,0000133	0,0000151	0,0000178	0,0000232	287
Метан	0,0000145	0,0000165	0,0000197	0,0000256	520
Етилен	0,000075	0,0000086	0,0000104	0,0000138	296

Таблиця Д.5 – Значення коефіцієнта об'ємного стискання води при різних температурах і тисках

t $^{\circ}\text{C}$	$\beta_{\omega}, \text{Па}^{-1}$ при тисках у $\text{Па} \cdot 10^4$				
	50	100	200	390	780
0	0,054	0,0537	0,0531	0,0523	0,0515
5	0,0529	0,0523	0,0518	0,0508	0,0493
10	0,0523	0,0518	0,0508	0,0498	0,0481
15	0,0518	0,051	0,0503	0,0488	0,047
20	0,0515	0,0505	0,0495	0,0481	0,046

Список джерел

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

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійної роботи, практичних занять
та виконання розрахунково-графічного завдання
з дисципліни

ТЕХНІЧНА МЕХАНІКА РІДИН І ГАЗІВ

*(для студентів 2 курсу денної форми навчання
напряму підготовки 6.170202 "Охорона праці")*

Укладач **ШУШЛЯКОВ** Дмитро Олександрович

Відповідальний за випуск *О. О. Алексахін*

Редактор *О. В. Тарасюк*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2012, поз. 31 М

Підп. до друку 08.10.2012

Формат 60×84/16

Друк на ризографі

Ум. друк. арк. 1,2

Зам. №

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК №4064 від 12.05.2011 р.