

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійної роботи

з дисципліни

ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА РІДИН І ГАЗІВ

*(для студентів 2 курсу денної форми навчання освітньо-кваліфікаційного рівня
бакалавр напряму підготовки 6.040106 - “Екологія, охорона навколишнього
середовища та збалансоване природокористування ”)*

Харків – ХНАМГ – 2011

Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни «Прикладна механіка рідин і газів» (для студентів 2 курсу денної форми навчання освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр напряму підготовки 6.040106 - “Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування ”). / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: В. О. Бараннік. – Х.: ХНАМГ, 2011. – 16 с.

Укладач: к. ф. -м. н., доц. В. О. Бараннік

Рецензент: к. т. н., доц. Т.В. Дмитренко

Рекомендовано кафедрою інженерної екології міст,
протокол № 2 від 22.10.2010 р.

З М І С Т

Стор.

Вступ.....	4
1. Мета, предмет, місце та зміст дисципліни.....	5
2. Самостійна робота (змістовий модуль 1.1).....	8
3. Самостійна робота (змістовий модуль 1.2).....	14

Вступ

Прикладна механіка рідин і газів (ПМРГ) - наука, що вивчає закони рівноваги і механічного руху рідини і розробляє методи застосування цих законів для вирішення завдань інженерної практики.

ПМРГ, як механіка рідини, підрозділяється на гідростатику, в якій вивчаються закони рівноваги рідини, кінематику рідини, що вивчає зв'язки між геометричними характеристиками руху і часом (швидкості та прискорення), і гідродинаміку, що вивчає рух з урахуванням сил, що діють.

В даний час питання, що вивчає ПМРГ, охоплюють рух води не тільки в трубах, але і у відкритих руслах (каналах, річках), в різних водопровідних, повітря, водовідводних (каналізаційних) і гідротехнічних спорудах, рух ґрунтових вод, а також рух інших рідин (нафта, масла, різні розчини тощо) в трубопроводах і спорудах. Саме тому оволодіння методами аналізу руху рідин і газів, методиками розрахунку статичних і динамічних характеристик рідких і газових систем є складовою частиною підготовки інженерів інженерно-екологічного профілю.

Метою курсу в цілому є забезпечення загальноінженерної підготовки у галузі аналізу складних систем рідин і газів як основи для вивчення професійно-орієнтованих дисциплін та надання теоретичних знань та практичних навичок із системного аналізу в достатньому для професійної спеціалізації обсязі.

У даних методичних вказівках приведені теми (питання) та надані літературні джерела для самостійної роботи з дисципліни “Прикладна механіка рідин і газів”, що є у програмі та робочій програмі навчальної дисципліни.

1. МЕТА, ПРЕДМЕТ, МІСЦЕ ТА ЗМІСТ ДИСЦИПЛІНИ

1.1. мета, предмет та місце дисципліни

Мета: надання студентам теоретичних знань та практичних навичок у галузі аналізу складних систем навколишнього середовища як основи для вивчення професійно-орієнтованих дисциплін і виконання дипломного проекту. Предмет: методи опису, аналізу та прогнозування стану систем довкілля в умовах обмеженої або нечіткої інформації.

*Місце дисципліни в структурно-логічній схемі підготовки фахівця
(за ОПП та за навчальним планом)*

Перелік дисциплін, на які спирається вивчення даної дисципліни	Перелік дисциплін, вивчення яких безпосередньо спирається на дану дисципліну
Вища математика (математичний аналіз), Фізика (процеси переносу)	Моделювання і прогнозування стану довкілля; Стратегія сталого розвитку; студенти використовують отримані знання при виконанні дипломного проекту

Мета та завдання вивчення дисципліни

Мета: надання студентам теоретичних знань та практичних навичок стосовно розрахунків характеристик течій рідин і газів у напірних трубопроводах і відкритих руслах з урахуванням процесів переносу (від розробника).

Предмет вивчення у дисципліні: фізичні властивості рідин і газів, процесів переносу; закони турбулентного руху рідин і газів та розрахункові залежності, що використовуються у практиці інженерних розрахунків природних та інженерних систем (від розробника).

*Місце дисципліни в структурно-логічній схемі підготовки фахівця
(за ОПП та за навчальним планом)*

Перелік дисциплін, на які спирається вивчення даної дисципліни	Перелік дисциплін, вивчення яких безпосередньо спирається на дану дисципліну
Вища математика (математичний аналіз, диференційні рівняння), Фізика (закони механіки, термодинаміка)	Прикладна аероекологія, Прикладна гідроекологія

1.2. Інформаційний обсяг (зміст) дисципліни

Модуль 1. Прикладна механіка рідин і газів. (3 кредити / 108 годин)

Змістові модулі:

ЗМ 1.1. Явища переносу: (0,5 кредиту / 18 годин)

Мета і завдання курсу. Основні терміни і визначення. Фізичні властивості рідин та газів. Перенос імпульсу в рідинах. Ньютонівські та неньютонівські рідини. Спільні властивості рідин і газів та їх відмінності. Сили, які діють в рідині. Рівновага рідин. Гідростатичний тиск і його властивості. Рівняння гідростатики в диференціальній та інтегральній формах. Напір та його енергетичний зміст. Прилади для вимірювання тиску. Тиск на площину та криволінійні поверхні. Закон Архімеда.

ЗМ 1.2. Турбулентність: (1,5 кредити / 54 години)

Дві форми описання руху рідин. Основні види руху. Витрати рідини. Рівняння нерозривності в диференціальній та інтегральній формах. Рівняння Бернуллі для ідеальної та в'язкої рідини, його фізичний зміст та графічна інтерпретація. Рівняння Нав'є-Стокса. Гідрравлічний опір; ламінарний та турбулентний рух. Місцевий гідрравлічний опір; місцеві втрати напору. Гідрравлічний розрахунок трубопроводів. Аеродинамічний розрахунок повітроводів.

ЗМ1.3. Механіка відкритих потоків: (1 кредит / 36 годин)

Рівномірний рух рідини у відкритих руслах; ухил dna і гідрравлічний радіус. Рівняння рівномірного руху (рівняння Шезі). Емпіричні залежності для швидкісного коефіцієнта; формула Павловського; формула Маннінга. Геометричні та гідрравлічні характеристики русел. Залежності між геометричними і гідрравлічними характеристиками русел простих перетинів. Русло прямокутного поперечного перетину. Русло трикутного поперечного перетину з рівною крутизною укосів. Русло трапецієподібного поперечного перетину при однаковій крутизні укосів. Русло трапецієподібного поперечного перетину з різною крутизною укосів. Розрахунок характеристик руху рідини у відкритих руслах. Розрахунок середньої швидкості течії і витрати потоку рідини у відкритому руслі. Визначення глибини і середньої в перетині швидкості потоку.

Самостійна робота полягає у самостійному опрацюванні теоретичних питань та оволодінні навичками роботи з довідковою літературою за наступними темами.

До змістового модулю 1.1: Ознайомлення з літературними джерелами і довідковою літературою з фізичних властивостей рідин і газів.

1. Щільність рідин і газів.
2. В'язкість рідин і газів.
3. Стислість рідин і газів.
4. Системні та несистемні одиниці виміру тиску
5. Закон Архімеда.
6. Обчислення розташування центру ваги плоских поверхонь:
 - a. круг з різними кутами нахилу;
 - b. квадрат з різними кутами нахилу;
 - c. прямокутник з різними кутами нахилу;

До змістового модуля 1.2: Ознайомлення з літературними джерелами і довідковою літературою з фізичних властивостей поверхонь, що впливають на режим руху рідин і газів.

До змістового модуля 1.3: Ознайомлення з літературними джерелами і довідковою літературою з фізичних властивостей русел, що впливають на режим руху рідин.

САМОСТІЙНА РОБОТА

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1.1. Явища переносу

Тема 1. Щільність, в'язкість і стислість рідин і газів.

Стислі відомості. Однією з найважливіших фізичних характеристик рідини є щільність ρ , тобто співвідношення маси M рідини до об'єму W :

$$\rho = M / W$$

Нижче наводяться значення щільності ρ деяких рідин.

Рідини	ρ , кг/м ³
Вода (при $t=0^{\circ}\text{C}$)	999,9
(при $t=4^{\circ}\text{C}$)	1000
(при $t=20^{\circ}\text{C}$)	998,2
(при $t=40^{\circ}\text{C}$)	992,2
(при $t=99^{\circ}\text{C}$)	959,1
Вода морська (при $t=20^{\circ}\text{C}$)	1002—1029
Нафта (при $t=20^{\circ}\text{C}$)	850—950
Ртуть (при $t=20^{\circ}\text{C}$)	13547
Масло для гідравлічних систем	до 850

У гідравліці також використовується поняття питомої ваги рідини, що є співвідношенням ваги рідини γ до її об'єму W . Оскільки питома вага і щільність являють собою відношення сили тяжіння і маси до одного і того ж об'єму, то зв'язок між ними може бути виражений як:

$$\gamma = \rho \cdot g,$$

де $g=9,807$ - прискорення вільного падіння, м/с^2 .

Питома вага вимірюється в Н/м^3 або в $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}^2)$.

Для деяких рідин прийняті такі значення питомої ваги при вирішенні завдань:

	кгс/см^3	Тс/м^3	Н/м^3
Вода	0,00100	1,0	9807
Ртуть	0,01360	13,6	133370
Бензин	0,00075	0,75	7355
Гліцерин	0,00125	1,25	12258
Нафта	0.00090	0,90	8860

Тема 2. Стислість рідин і газів

Стислі відомості.

2.1. Опір стиснених рідин. Щільність реальної рідини мало змінюється при зміні тиску.

Ця властивість характеризується залежністю:

$$\frac{d\rho}{\rho} = \beta_p \cdot dp = \frac{dp}{E_{ж}},$$

де β_p - коефіцієнт об'ємного стиснення.

Величина, зворотна коефіцієнту об'ємного стиснення, називається модулем об'ємної пружності рідини - $E_{ж} = 1/\beta_p$.

Для води $E_{ж} \approx 2 \cdot 10^6$ кПа.

2.2. Опір розтягувальним зусиллям. Міцність рідини на розрив характеризується вельми великими величинами. Проте наявність в рідині найдрібніших твердих частинок або бульбашок газу призводить до різкого її зменшення (практично до нуля). З урахуванням цього на практиці вважають, що рідина не піддається розтягувальним зусиллям, і величиною розтягувальної напруги зазвичай нехтують.

Стиснення газоподібних рідин. Коефіцієнт об'ємного стиснення для газів:

$$\beta_p = 1/p.$$

Температурне розширення рідин. Щільність рідин також мало змінюється і при зміні температури:

$$\frac{d\rho}{\rho} = -\beta_t \cdot dt,$$

де β_t - температурний коефіцієнт об'ємного розширення.

Для води при температурі $t = 10 - 20^\circ\text{C}$ середні значення $\beta_t = 0,00015 \text{ K}^{-1}$. Температурний коефіцієнт об'ємного розширення газів за нормальних умов $\beta_t = 1/T = 1/273,13 = 0,00366 \text{ K}^{-1}$.

Тема 3. В'язкість рідин і газів

Стислі відомості. В'язкістю називається властивість рідин чинити опір дотичним зусиллям при русі. У певній рідині між її шарами dn , що рухаються з різницею швидкостей du (рис. 1), виникає дотична напруга:

$$\tau = \pm \mu \cdot \frac{du}{dn},$$

де μ - динамічна в'язкість; dn - товщина шару рідини; du - градієнт швидкості.

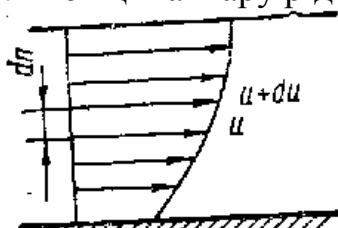


Рис. 1 – Схема руху в'язкої рідини

Цей вираз запропонований М. П. Петровим, і відображає гіпотезу І. Ньютона про внутрішнє тертя між частинками рідини.

Одиницею динамічної в'язкості є:

$$[\mu] = \frac{[\tau]}{\left[\frac{du}{dn}\right]} = \frac{H}{\frac{m^2 \cdot m}{c \cdot m}} = \frac{H \cdot c}{m^2} = Pa \cdot c$$

Відношення динамічної в'язкості до щільності називається кінематичною в'язкістю рідини:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho},$$

одиниця якої

$$[\nu] = \frac{[\mu]}{[\rho]} = \frac{H \cdot c \cdot m^3}{m^2 \cdot kg} = \frac{kg \cdot m \cdot c \cdot m^3}{c^2 \cdot m^2 \cdot kg} = \frac{m^2}{c}$$

Кінематична в'язкість зменшується із збільшенням температури. Як приклад нижче наведені значення ν для води при різних температурах t :

$t \text{ } ^\circ\text{C}$	0	5	10	20	40
$\nu \text{ cm}^2/\text{c}$	0,0178	0,0152	0,0131	0,0101	0,0066

Окрім звичайних (ньютонівських) рідин, існують аномальні (неньютонівські) рідини. До них відносяться мастила, нафтопродукти, колоїдні розчини тощо.

Для таких рідин закон внутрішнього тертя виражається у вигляді формули:

$$\tau = \tau_\phi \pm \mu \cdot \frac{du}{dn},$$

де τ_ϕ - дотична напруга в рідині у стані спокою, після подолання якої рідина починає рухатися.

Рекомендовані джерела:

1. Сльоз Л.Г. Технічна механіка рідини і газу. Макіївка:ДонДАБА, 2003. - 185 с.
2. Константинов Ю.М., Гіжа О.О. Технічна механіка рідини і газу. К.: Вища школа, 2002. – 277 с.
3. Альтшуль А.Д., Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика. – М.: Стройиздат, 1987. – 414 с.
4. Справочник по гидравлике. В.А. Большаков, Ю.М. Константинов – К.: Вища школа, 1984. – 343 с.
5. <http://symp15.nist.gov/pdf/p143.pdf>
6. http://www.ebookee.com/Handbook-of-Physical-Properties-of-Liquids-and-Gases-Pure-Substances-and-Mixtures_128212.html

Тема 4. Системні і несистемні одиниці виміру тиску

Стислі відомості. Розглянемо довільний об'єм рідини, що знаходиться в рівновазі під дією зовнішніх сил (рис. 2).

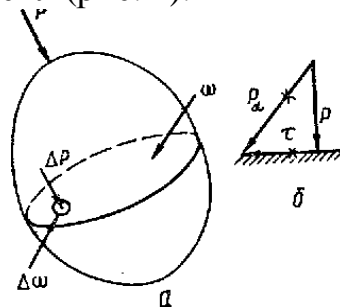


Рис. 2 – Тиск в рідині

Розітнемо цей об'єм якою-небудь площиною і в думках відкинемо частину, що знаходиться з одного боку від цієї площини. Для збереження умов рівноваги її дію на частину, що залишилася, замінимо якоюсь рівнодіючою силою P . Якщо і на січній площині виділити елементарний майданчик, то на неї діятиме частина рівнодіючої сили ΔP . При зменшенні площі $\Delta \omega$ до нуля межа відношення називається гідростатичним тиском p в даній точці рідини:

$$\frac{\Delta P}{\Delta \omega} \text{ або } p = \frac{dP}{d\omega}.$$

Гідростатичний тиск характеризується трьома основними властивостями:

Гідростатичний тиск спрямований на поверхню, на яку він діє, і створює тільки стискаючу напругу. Дійсно, в рідині практично не виникає розтягувальної напруги, а якщо вона знаходиться у стані спокою, то в ній немає і дотичної напруги. Не може тиск діяти на майданчик і під кутом, що відрізняється від 90° . У цьому випадку його можна було б розкласти на нормальний і дотичний, а як зазначалося раніше, дотична напруга може виникати тільки при русі рідини. Тому в даному випадку тиск може бути тільки нормальним до майданчика і створювати тільки стискаючу напругу.

У одиницях СІ тиск вимірюється в паскалях (Па), кілопаскалях (кПа), мегапаскалях (Мпа). У технічній літературі, виданій раніше 1980 р., зустрічається вимірювання тиску в технічних атмосферах (кгс/см²).
 $1 \text{ кгс/см}^2 = 98100 \text{ Н/м}^2 = 98100 \text{ Па} = 98,1 \text{ кПа} = 0,0981 \text{ Мпа}$.

	кгс/см ²	Н/м ²
<i>Технічна атмосфера</i>	1	98066,5
<i>Міліметр водяного стовпчика</i>	0,0001	9,80665
<i>Міліметр ртутного стовпчика</i>	0,00136	133,32

Щодо використання інших позасистемних одиниць вимірювання тиску (метри водяного стовпчика, міліметри ртутного стовпчика, фізична атмосфера), то для проведення розрахунків використовують наступний їх зв'язок: 1 технічна атмосфера = 1 кгс/см² = 10 м вод. ст. = 735 мм рт. ст. = 0,967 атм = 98070 Н/м² = 98070 Па.

Рекомендовані джерела:

1. Сльоз Л.Г. Технічна механіка рідини і газу. Макіївка: ДонДАБА, 2003.- 185 с.
2. Константинов Ю.М., Гіжа О.О. Технічна механіка рідини і газу. К.: Вища школа, 2002. – 277 с.
3. Альтшуль А.Д., Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика. – М.: Стройиздат, 1987. – 414 с.
4. Справочник по гидравлике. В.А. Большаков, Ю.М. Константинов – К.: Вища школа, 1984. – 343 с.

Тема 5. Закон Архімеда

Стислі відомості. Закон Архімеда формулюється наступним чином: на поверхню тіла, зануреного в рідину, діють сили тиску, рівнодіюча яких спрямована проти сили тяжіння, прикладена до тіла в центрі тяжкості об'єму рідини, витисненої тілом, і рівна за величиною вазі рідини у витисненому об'ємі.

Тема 6. Обчислення розташування центру ваги плоских поверхонь

Стислі відомості. При розрахунку будівельних конструкцій і споруд важливо знати не тільки тиск в окремих точках, але і загальну силу тиску рідини на споруду або її частину. Розглянемо визначення сили тиску на плоску поверхню довільної форми, що представляє частину похилою під кутом а до горизонту площини. На рис. 3 площина похилої показана так само поверненою на 90° і суміщеною з площиною креслення.

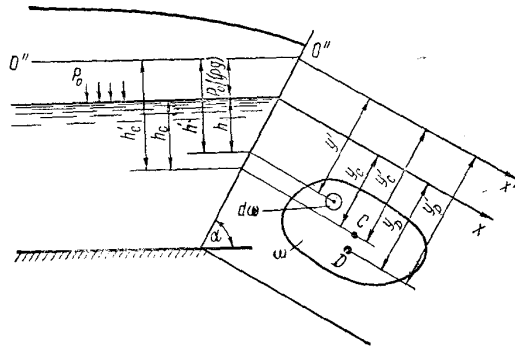


Рис. 3 – Схема до розрахунку сили тиску

Рідина тисне на поверхню з площею ω в усіх точках, але тиск цей нерівномірний. У верхніх точках тиск менший, а в нижніх вищий. Тому для визначення загальної сили тиску на плоску поверхню необхідно визначити силу тиску dF на нескінченно малий майданчик з площею, розташованою навколо точки з глибиною занурення, а потім цей вираз проінтегрувати за всією площею плоскої поверхні. Ця сила визначиться як тиск в точці, помножений на площу майданчика:

$$dF = p \cdot d\omega = (p_0 + \rho \cdot g \cdot h) \cdot d\omega = \rho \cdot g \cdot \left(\frac{p_0}{\rho \cdot g} + h \right) \cdot d\omega$$

де p_0 – тиск на вільній поверхні рідини.

Введемо координату y , що визначається за глибиною уздовж плоскої поверхні, і координату x , що обчислюємо за плоскою поверхнею в перпендикулярному напрямі. Тоді $d\omega = dx \cdot dy$, $h = y \cdot \sin\alpha$. Звідси випливає:

$$F = \iint dF = \iint p \cdot d\omega = \iint (p_0 + \rho \cdot g \cdot y \cdot \sin\alpha) dx dy = \int dx \int (p_0 + \rho \cdot g \cdot y \cdot \sin\alpha) dy = \int \left[\frac{p_0 \cdot H}{\sin\alpha} + \rho \cdot g \frac{H^2}{2 \cdot \sin\alpha} \right] dx = \frac{H \cdot L}{\sin\alpha} \cdot \left(p_0 + \rho \cdot g \cdot \frac{H}{2} \right) = \rho \cdot g \cdot S \cdot \left(\frac{p_0}{\rho \cdot g} + \frac{H}{2} \right) = \rho \cdot g \cdot S \cdot P_c$$

Таким чином, сила гідростатичного тиску (абсолютного) на плоску поверхню дорівнює добутку її питомої ваги на площу поверхні та на величину гідростатичного тиску на глибині занурення центру тяжіння поверхні.

Рекомендовані джерела:

1. Сльоз Л.Г. Технічна механіка рідини і газу. Макіївка: ДонДАБА, 2003.- 185 с.
2. Константінов Ю.М., Гіжа О.О. Технічна механіка рідини і газу. К.: Вища школа, 2002. – 277 с.
3. Альтшуль А.Д., Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика. – М.: Стройиздат, 1987. – 414 с.
4. Справочник по гидравлике. В.А. Большаков, Ю.М. Константинов – К.: Вища школа, 1984. – 343 с.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1.2. Турбулентність

Тема 7. Ознайомлення з довідковою літературою з фізичних властивостей поверхонь, що впливають на режим руху рідин і газів

Стислі відомості. 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:
 $Re > 2320$.

Втрати повного натиску в потоці рідини на ділянці між двома живими перетинами складаються із втрат за довжиною і суми місцевих втрат:

$$\Delta h_{w_{l-2}} = h_L + \sum h_M,$$

h_L - втрати натиску за довжиною потоку; $\sum h_M$ - сума місцевих втрат натиску.

Втрати натиску за довжиною трубопроводу постійного перетину визначають за формулою Вейсбаха-Дарсі:

$$h_L = \zeta \frac{V^2}{2g},$$

де ζ - коефіцієнт втрат.

При розрахунку втрат натиску за довжиною в круглих трубопроводах коефіцієнт визначають за формулою:

$$\zeta = \lambda \frac{L}{d},$$

де λ - гідравлічний коефіцієнт тертя (коефіцієнт Дарсі); L - довжина ділянки трубопроводу, на якому визначаються втрати натиску; d - діаметр трубопроводу.

Для визначення гідравлічного коефіцієнта тертя може бути рекомендована формула А.Д. Альтшуля:

$$\lambda = 0.11 \left(\frac{A_s}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25},$$

де A_s - еквівалентна шорсткість стінок трубопроводу.

Нижче наведені значення еквівалентної шорсткості для деяких труб (мм):

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

Рекомендовані джерела:

1. Сльоз Л.Г. Технічна механіка рідини і газу. Макіївка: ДонДАБА, 2003.- 185 с.
2. Константинов Ю.М., Гіжа О.О. Технічна механіка рідини і газу. К.: Вища школа, 2002. – 277 с.
3. Альтшуль А.Д., Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика. – М.: Стройиздат, 1987. – 414 с.
4. Справочник по гидравлике. В.А. Большаков, Ю.М. Константинов – К.: Вища школа, 1984. – 343 с.

Тема 8. Ознайомлення з довідковою літературою з фізичних властивостей русел, що впливають на режим руху рідин

Стислі відомості. Рух води у відкритих руслах завжди відбувається в турбулентному режимі і є безнапірним. Рівняння рівномірного руху води у відкритому руслі має вигляд:

$$V = W\sqrt{i},$$

де V - це середня в живому перерізі потоку швидкість течії; W - швидкісна характеристика (швидкісний коефіцієнт) руху; i - нахил дна русла.

Помножуючи обидві частини цього рівняння на площу живого перерізу потоку ω , отримаємо рівняння Шезі:

$$Q = \omega W \sqrt{i}.$$

Згідно з М.М. Павловським швидкісний коефіцієнт розраховується за формулою:

$$W = \frac{1}{n} R^z,$$

де R - гідравлічний радіус потоку, який визначають за формулою:

$$R = \frac{\omega}{\chi},$$

де χ - змочений периметр живого перетину.

За повною формулою Павловського:

$$z = 0.37 + 2.5\sqrt{n} - 0.75(\sqrt{n} - 0.1)\sqrt{R}.$$

Коефіцієнт шорсткості русла n визначається за довідником, а залежно від вигляду і стану і знаходиться в межах від 0,017 до 0,13. Так, для природних незасмічених русел (глина, пісок, дрібний гравій) з невеликими ухилами $n=0,025$.

Більш простою для розрахунків є формула Маннінга:

$$W = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}}.$$

Рекомендовані джерела:

1. Барышников Н.Б. Гидравлические сопротивления речных русел. /Учебное пособие - Санкт-Петербург: РГГМУ, 2003.- 147 с.
2. Сльоз Л.Г. Технічна механіка рідини і газу. Макіївка: ДонДАБА, 2003.- 185 с.
3. Константинов Ю.М., Гіжа О.О. Технічна механіка рідини і газу. К.: Вища школа, 2002. – 277 с.
4. Альтшуль А.Д., Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика. – М.: Стройиздат, 1987. – 414 с.
5. Справочник по гидравлике. В.А. Большаков, Ю.М. Константинов – К.: Вища школа, 1984. – 343 с.
6. <http://www.iqlib.ru/book/preview/ADEF945D6BF04D4AA86FEF8EF6B477C3>

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки до самостійної роботи
з дисципліни **“ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА РІДИН І ГАЗІВ”**
(для студентів 2 курсу денної форми навчання освітньо-кваліфікаційного рівня
бакалавр напряму підготовки 6.040106 - “Екологія, охорона навколишнього
середовища та збалансоване природокористування”)

Укладач **Бараннік** Валерій Олександрович

Відповідальний за випуск *В. О. Бараннік*

Редактор *О. В. Тарасюк*

Комп'ютерне верстання *К. А. Алексанян*

План 2010, поз. 66М

Підп. до друку 04.11.2010

Друк на різнографі

Зам. №

Формат 60x84/16.

Ум. друк. арк. 0,9

Тираж 100 пр.

Видавець і виготовлювач
Харківська національна академія міського господарства
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rektorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4064 від 12.05.2011 р.