

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

В.Р. Кулінченко

Гідравліка

гідравлічні машини і гідропневмопровід

Частина 1

**КУРС
ЛЕКЦІЙ**

Київ НУХТ 2008

Підручник "Затверджено Міністерством освіти і науки України як підручник для студентів вищих навчальних закладів"

Лист № 1/11-2121 від 27 травня 2003 року

Рецензенти підручника :

О.М.Яхно, д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри гідро пневмоавтоматики та гідравліки Національного технічного університету України "КПІ";

Е.В.Залуцький, канд. техн. наук, доц., кафедра водопостачання Київського Національного університету будівництва і архітектури

Внутрішня рецензія на навчальне видання:

С.М. Василенко, доктор технічних наук, професор

Кулінченко В. Р. Гідравліка, гідравлічні машини і гідропневмопривід. Частина I. Гідравліка і гідравлічні машини у стислому викладі: Навчальний посібник. – 2-е вид. перепрацьоване і доповнене. – К.: НУХТ, 2008

Навчальне видання відповідає навчальній програмі єдиній для різних інженерно - технічних спеціальностей.

Розглянуто питання загальної гідравліки крапельних рідин, які знаходяться у стані спокою чи рухаються в трубопроводах, каналах, руслах, через отвори і насадки; визначаються коефіцієнти втрат на тертя в місцевих опорах і по довжині. Розглянуто робочі процеси в лопатевих і об'ємних насосах.

Навчальний видання розраховане на студентів інженерно-технічних спеціальностей університетів.

Передмова

Гідравліка, гідравлічні машини і гідропневмопривід. Частина I. Гідравліка і гідравлічні машини. Стилий виклад: Навчальне видання. – 2-е видання перепрацьоване і доповнене є фактично повний конспект лекцій, розрахований на курс лекцій (обсягом 30...40 акад. годин) для студентів інженерного фаху за спеціальностями механіка, енергетика, технологія переробних галузей продукції сільського господарства і тваринництва.

У пропонованому виданні, яке відповідає програмі дисципліни "Гідравліка і гідравлічні машини", ураховано недоліки першого видання повного конспекту лекцій з аналогічною назвою, рекомендованого Міністерством освіти України як навчальний посібник, і виданого в 1998 р. обсягом 11,16 друк. арк. накладом 500 примірників, а також підручника "Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривід" виданого у Києві фірмою "Інкос" в 2006 р на 616 с.

У пропонованій версії навчального видання літерою "Г" позначається матеріал, який надрукований дрібнішим шрифтом і необхідний для поглибленого вивчення дисципліни.

ЛЕКЦІЯ № 1

Вступ

Гідравлікою називається прикладна наука, яка вивчає закони рівноваги і руху рідин і газів та розробляє на підставі теорії і дослідів методику застосування цих законів до розв'язання задач інженерної практики в різних галузях промисловості. Назва "гідравліка" походить від сполучення грецьких слів хюдор – вода і аулос – труба, жолоб. Коли виникла ця назва, головним було вивчення законів руху рідини в трубах. Таке розуміння гідравліки зараз має тільки історичний зміст.

Зміст сучасної гідравліки значно ширший – зараз важко знайти галузі техніки, де не використовуються закони гідравліки. Головні області застосування гідравліки – це гідротехніка і меліорація, водопостачання і каналізація, гідроенергетика, водний транспорт, автомобільні і залізничні шляхи атомна енергетика та інше. Значна роль цієї науки в хімічній технології, харчовій і легкій промисловості,

УДК 532.071.1+532.075.8+621.63+621.65

ББК31.56я73

Підручник "Затверджено Міністерством освіти і науки України як підручник для студентів вищих навчальних закладів"

Лист № 1/11-2121 від 27 травня 2003 року

Рецензенти підручника :

О.М.Яхно, д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри гідро пневмоавтоматики та гідравліки Національного технічного університету України "КПІ";

Е.В.Залуцький, канд. техн. наук, доц., кафедра водопостачання Київського Національного університету будівництва і архітектури

Внутрішня рецензія на навчальне видання:

С.М. Василенко, доктор технічних наук, професор

Кулінченко В. Р. Гідравліка, гідравлічні машини і гідропневмопривід. Частина І. Гідравліка і гідравлічні машини у стислому викладі: Навчальний посібник .– 2-е вид. перепрацьоване і доповнене. – К.: НУХТ, 2008

Навчальне видання відповідає навчальній програмі єдиній для різних інженерно - технічних спеціальностей.

Розглянуто питання загальної гідравліки крапельних рідин, які знаходяться у стані спокою чи рухаються в трубопроводах, каналах, руслах, через отвори і насадки; визначаються коефіцієнти втрат на тертя в місцевих опорах і по довжині. Розглянуто робочі процеси в лопатевих і об'ємних насосах.

Навчальний видання розраховане на студентів інженерно-технічних спеціальностей університетів.

© В.Р.Кулінченко

© НУХТ, 2008

Передмова

Гідравліка, гідравлічні машини і гідропневмопривід. Частина I. Гідравліка і гідравлічні машини. Стилий виклад: Навчальне видання. – 2-е видання перепрацьоване і доповнене є фактично повний конспект лекцій, розрахований на курс лекцій (обсягом 30...40 акад. годин) для студентів інженерного фаху за спеціальностями механіка, енергетика, технологія переробних галузей продукції сільського господарства і тваринництва.

У пропонованому виданні, яке відповідає програмі дисципліни "Гідравліка і гідравлічні машини", ураховано недоліки першого видання повного конспекту лекцій з аналогічною назвою, рекомендованого Міністерством освіти України як навчальний посібник, і виданого в 1998 р. обсягом 11,16 друк. арк. накладом 500 примірників, а також підручника "Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривід" виданого у Києві фірмою "Інкос" в 2006 р на 616 с.

У пропонованій версії навчального видання літерою "Г" позначається матеріал, який надрукований дрібнішим шрифтом і необхідний для поглибленого вивчення дисципліни.

ЛЕКЦІЯ № 1

Вступ

Гідравлікою називається прикладна наука, яка вивчає закони рівноваги і руху рідин і газів та розробляє на підставі теорії і дослідів методики застосування цих законів до розв'язання задач інженерної практики в різних галузях промисловості. Назва "гідравліка" походить від сполучення грецьких слів хюдор – вода і аулос – труба , жолоб. Коли виникла ця назва , головним було вивчення законів руху рідини в трубах. Таке розуміння гідравліки зараз має тільки історичний зміст.

Зміст сучасної гідравліки значно ширший – зараз важко знайти галузі техніки, де не використовуються закони гідравліки. Головні області застосування гідравліки – це гідротехніка і меліорація, водопостачання і каналізація, гідроенергетика, водний транспорт, автомобільні і залізничні шляхи атомна енергетика та інше. Значна роль цієї науки в хімічній технології, харчовій і легкій промисловості,

автомобілебудуванні, гідрології і метеорології, фізіології, сільському господарстві та інше. Безумовно, для кожної із цих галузей перевага віддається своєму колу гідравлічних задач і відповідно методикам їх розв'язку. Але всі вони ґрунтуються на загальних законах рівноваги і руху рідин і газів.

i **Коротка історична довідка.** Основоположником гідравліки вважається сіракузький математик Архімед

(287 – 212 рр. до н.е.), працями якого закладені основи вчення про рівновагу рідин. В епоху середньовіччя розвиток усіх наук, у тому числі гідравліки, припинився і тільки у XVI ст. з'являються деякі теоретичні та дослідні роботи з гідравліки, в яких розглядаються окремі, не пов'язані одне з одним, питання. Тут можна відзначити роботи Леонардо да Вінчі (1452 – 1519) по визначенню руху води, роботи Г.Галілея (1564 – 1642), в яких вперше системно подані основи гідростатики, учня Г.Галілея Е.Торрічеллі (1608 – 1647) по вивченню витікання рідини через отвори, робота французького вченого Б.Паскаля (1623 – 1662) про розподіл тиску і, врешті, роботи І.Ньютона (1642 – 1727) про тертя в рухомій рідині та теорії гідродинамічної подібності.

На цьому закінчується важливий етап в розвитку гідравліки. Не дивлячись на прості прийоми, використані при доведенні основних законів, вони були сформульовані настільки точно, що не змінилися і до нашого часу. Використання сил водяного стовпа сприяло накопиченню практичного досвіду в області гідравліки і створило сприятливі умови для розвитку її основ. Цьому сприяли успіхи в математиці і механіці. Але теоретичні основи гідравліки (гідромеханіка) як вчення про механічний рух рідин і газів були сформульовані значно пізніше російським вченим М.В.Ломоносовим (1711 – 1765) і академіками Л.Ейлером (1707 – 1783) та Д.Бернуллі (1700 – 1782).

Працями цих вчених закінчується період створення наукових основ гідравліки. В подальшому ця наука продовжує бурхливо розвиватися.

Наступний період розвитку гідравліки охоплює другу половину XVIII ст. та більшу половину XIX ст. У цей період, з одного боку, накопичується значний дослідний матеріал і швидко розвивається прикладна гідромеханіка, в чому значну роль відіграють роботи А.Дарсі, А.Дюпої, Ж.Пуазейля, Г.Гагена, А.Базена, Ф.Беланже та ін. З другого боку, інтенсивно розвивається і теоретична гідромеханіка, істотний внесок в яку зробили Л.Лагранж, Л.Нав'є, А.Сен-Венан, та ін.

Важливе значення для розвитку гідравліки в той час мали роботи І.С.Громеки – з теорії вихрового руху, В.Г.Шухова – з досліджень руху рідин великої в'язкості, Дж.Стокса і О.Рейнольдса – у ряді галузей гідромеханіки. Однак розрив між теорією і практикою в цей період гальмував розвиток гідравліки.

Наступний етап розвитку гідравліки охоплює кінець XIX та початок XX ст. і характеризується глибокими теоретичними розробками і чисельними дослідженнями. Розвиток гідравліки в цей час пов'язаний з іменами М.П.Петрова та М.Є.Жуковського. Останній зробив великий внесок до багатьох галузей науки і техніки. Зокрема, саме йому належить велика кількість фундаментальних досліджень з теорії механіки, гідравліки та аеродинаміки.

Особливо бурхливий розвиток гідромеханіки розпочинається у зв'язку з розвитком промисловості. Перед вченими постали ряд проблем з гідравліки, за розробку яких взялися не окремі дослідники, а великі колективи на чолі з видатними вченими, зокрема акад. М.М.Павловським розроблені основи теорії руху ґрунтових вод під гідротехнічними спорудами. О.М.Крилов очолив напрямок наук про плавучість і остійність корабля. Л.С.Лейбензон, І.А.Чарний, П.Я.Полубаринова-Кочіна виконали роботи з теорії руху рідин і газів у пористому середовищі. Винятково важливими є дослідження С.О.Чаплигіна з аеро- і газодинаміки, М.А.Веліканова, А.М.Колмогорова, Л.Г.Лойцяньського – по вивченню турбулентних течій, С.О.Христіановича – в галузі нестационарного руху, акад. Г.Ф.Проскури – у галузі пропелерних водяних турбін і насосів.

Досягнення гідравліки у вирішенні багатьох задач інженерної практики, створення нових гідравлічних методів розрахунку, з одного боку, і розвиток теоретичної гідромеханіки у зв'язку з застосуванням ЕОМ і нових методів розрахунку, з другого – привели до зближення цих наук. Можна вважати, що сучасна гідравліка є технічною механікою рідин, яка ґрунтується на теоретичній гідромеханіці і великій базі дослідного матеріалу. На цій підставі необхідно щоб курс гідравліки включав у себе всі досягнення гідромеханіки, які необхідні інженеру в його практичній діяльності.

Частина перша. Гідравліка

Розділ 1. Основні фізико-механічні властивості рідин

1.1. Рідина і її відмінність від твердих і газоподібних тіл

Рідина – речовина, яка у сконденсованому стані займає проміжне місце між твердими тілами і газами. Подібно твердим тілам, вона зберігає свій об'єм і має певну міцність на розрив, зберігаючи змінність форми, що поєднує її з газами. Завдяки рухливості частинок навіть малі дотичні сили не руйнують рідину, а примушують її приймати іншу форму – це споріднює рідину з газами. **Властивість рідини деформуватися під дією прикладених сил називається текучістю.**

Речовини, закони рівноваги і руху яких вивчаються в гідравліці поділяються на стисливі рідини і гази, практично нестисливі – крапельні рідини. Гідравліка розглядає крапельні рідини, як реальні так і ідеальні (неіснуючі).

Ідеальна – це така рідина, між частинками якої відсутні сили зчеплення, внаслідок цього вона не чинить опір силам зсуву і розтягування. Ця рідина не стисла, тобто чинить безмежний опір силам стиснення. Такої рідини у природі не існує.

Реальна – це така рідина, яка не має ідеальних властивостей, тобто вона до певної міри чинить опір дотичним і розтягуючим зусиллям, а також частково стискається під дією зовнішніх сил. Закони для ідеальної рідини застосовують і до реальної з відповідними поправками або без них.



Рис. 1.1. Вільна поверхня

Якщо крапельна нестислива рідина знаходиться у певному каналі, руслі чи в посудині, і займає частину їх об'єму, то утворюється **границя між рідиною і навколишнім середовищем, яка називається**

вільною поверхнею рідини (рис.1.1).Стисливі рідини не мають вільної поверхні.

Крапельні рідини мають **власний об'єм**. Так, наприклад, 1 м³ води займає певний об'єм у посудині довільної форми, а стислива рідина не має власного об'єму і займає весь простір замкненої посудини, в якій вона знаходиться.

1.2. Густина і питома вага

Густиною рідини називається її маса, що знаходиться в одиниці об'єму. Згідно цього визначення, маємо:

$$\rho = m/V, \quad (1.1)$$

де m – маса рідини в кг, V – об'єм в м³.

Із формули (1.1) визначається одиниця виміру густини:
 $[\rho] = [m / L^3] = [кг/м^3]$.

Якщо рідина неоднорідна, то формула (1.1) визначає тільки середню густину рідини. Для визначення густини в певній точці необхідно користуватися формулою:

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V}. \quad (1.2)$$

На практиці про масу рідини судять по її вазі. Виходячи з цього **питома вага – це вага одиниці об'єму рідини**, таким чином:

$$\gamma = \frac{G}{V}, \quad (1.3)$$

де G – вага в Н, V – об'єм рідини в м³.

Одиниця розмірності питомої ваги випливає із формули (1.3)
 $[\gamma] = [G / L^3]$, у системі МКГСС – кгс/м³, у СІ – Н/м³. До введення Міжнародної системи одиниць виміру фізичних величин питома вага мала розмірність у технічних розрахунках кгс / м³. Зв'язок цієї одиниці з одиницею СІ такий: 1 кгс / м³ = 9,81 Н/м³.

Згідно з другим законом Ньютона вага тіла становить:

$$G = mg, \quad (1.4)$$

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

Підставляючи рівняння (1.4) в (1.3), знайдемо взаємозв'язок між густиною і питомою вагою:

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{mg}{V} = \frac{mg}{m/\rho} = \rho g. \quad (1.5)$$

Якщо рідина неоднорідна, то формула (1.3) визначає тільки середню об'ємну вагу рідини. Для визначення питомої ваги рідини у певній точці необхідно користуватися формулою:

$$\gamma = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta G}{\Delta V}, \quad (1.6)$$

де G – вага рідини в об'ємі V .

Чисельне значення питомої ваги залежить від одиниць виміру і для води при температурі 4°C становить: у системі МКГСС – $1000 \text{ кгс} / \text{м}^3$, у СІ – $9810 \text{ Н} / \text{м}^3$.

Відносною густиною (питомою вагою) рідини називається відношення густини (питомої ваги) певної рідини до густини (питомої ваги) дистильованої води при 4°C і атмосферному тиску, при цьому:

$$\delta_r = \gamma / \gamma_a = \rho g / (\rho_a g) = \rho / \rho_a = \delta_\rho. \quad (1.7)$$

Таким чином, чисельні значення відносної густини і відносної питомої ваги рівні між собою і не залежать від вибраної системи одиниць.

1.3. Стисливість і пружність рідин

Стисливість – поновлювана зміна об'єму рідини під дією всебічного тиску. Мірою стисливості є коефіцієнт об'ємного стиснення β_p , що є відношення зміни об'єму рідини при підвищенні тиску на одну одиницю

$$\beta_p = -\frac{dV}{V} \cdot \frac{1}{dp}. \quad (1.8)$$

Знак "мінус" показує, що при збільшенні тиску об'єм зменшується. Якщо за одиницю тиску прийняти паскаль, то коефіцієнт об'ємного стиснення буде вимірюватися в Па^{-1} або $\text{м}^2 / \text{Н}$.

Виходячи із (1.1) коефіцієнт об'ємного стиснення можна виразити через відносне збільшення густини (за умови, що $m = \text{const}$). У такому випадку $-dV/V = dp/\rho$, і замість (1.8), отримаємо

$$\beta_p = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\rho}{dp}. \quad (1.9)$$

Як бачимо, коефіцієнт об'ємного стиснення визначає також відносну зміну густини рідини при зміні тиску на одиницю.

Пружність – властивість рідини поновлювати свій об'єм після припинення дії тиску. Для якісної картини пружних властивостей використовують поняття модуля об'ємної пружності (E), який є оберненою величиною коефіцієнта об'ємного стиснення, тобто розмірність E збігається з розмірністю тиску.

1.4. В'язкість

В'язкість це властивість рідини, що рухається з різними швидкостями у потоці, чинити опір відносному руху її частинок. Обумовлена в'язкістю сила внутрішнього тертя (T) спрямована у бік протилежний руху потоку, чим викликає опір цьому руху з боку рідини. З цього випливає інше тлумачення в'язкості. **В'язкістю називається спроможність рідини чинити опір зсувним чи дотичним зусиллям.**

Основи закону внутрішнього тертя (як гіпотези) були визначені Ньютоном у 1686 р. і зводилися до наступного: **сили тертя залежать від властивостей рідини, не залежать від тиску, прямо пропорційні спряженому поверхням і градієнтам швидкості у шарах.** Математично гіпотезу Ньютона можна подати у вигляді формули:

$$T = \mu F \frac{dU}{dr}, \quad (1.10)$$

де μ – **динамічна чи абсолютна в'язкість.**

Для геометричного тлумачення гіпотези розглянемо потік рідини, всі шари якої рухаються паралельно один одному (рис.1.2). Розділимо цей потік на окремі шари товщиною dr і припустимо, що швидкість

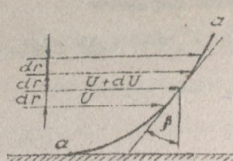


Рис.1.2. Схема руху в'язкої рідини

частинок рідини змінюється від шару до шару по кривій $a-a$. Градієнт швидкості dU/dr вимірюється тангенсом кута нахилу дотичної до епюри швидкостей у будь-якій точці ($\tan \beta$) і характеризує інтенсивність зміни швидкості у напрямі нормалі до неї.

Виходячи з (1.10), якщо силу тертя віднести до одиниці площі спряжених між собою шарів, отримаємо дотичну напругу τ сил внутрішнього тертя

$$\tau = \frac{T}{F} = \mu \frac{dU}{dr} \quad (1.11)$$

Ця формула вперше отримана Ньютоном. Рідини, що описуються виразом (1.11), називають нормальними чи ньютонівськими рідинами, для яких в'язкість є фізичною величиною, що змінюється тільки із зміною температури чи тиску і не залежить від швидкості руху рідини. Вираз $\mu = \tau / (dU / dr)$ показує, що у скільки разів змінюється градієнт швидкості, у стільки разів змінюється напруга сил тертя, а коефіцієнт в'язкості μ є коефіцієнтом пропорційності, і залишається без зміни.

Із виразу (1.11) одиниця розмірності коефіцієнта динамічної в'язкості становить – Па·с.

Відношення динамічної в'язкості рідини до її густини називається кінематичною в'язкістю і визначається за формулою:

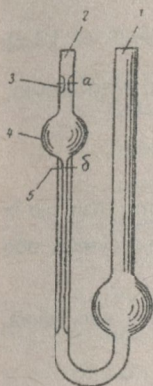
$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1.12)$$

Кінематична в'язкість вимірюється у квадратних метрах на секунду [m^2/s].

1.5. Віскозиметрія

Віскозиметрія – розділ науки, що вивчає методи вимірювання в'язкості. Широкий діапазон значень в'язкості і необхідність вимірів при низьких чи високих температурах і тисках

обумовлюють велике розмаїття методів віскозиметрії і конструкцій відповідних приладів – віскозиметрів (від пізнє латинського віскозус – в'язкий і грецького метрео – міряю). Віскозиметри бувають різних типів.



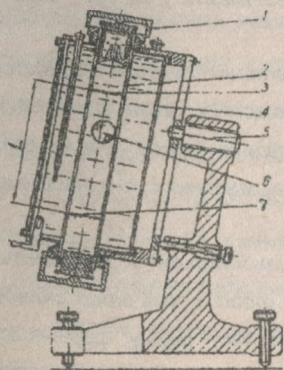
Віскозиметр Освальда – Пінкевича – це U-подібна вертикальна скляна трубка, в ліве коліно якої впаяно капіляр (рис.1.3). Налита в сполучену посудину досліджувана рідина в об'ємі 2...3 мл

Рис. 1.3. Віскозиметр Освальда – Пінкевича

відсмоктується до рівня, що перевищує мітку а. Під час досліду фіксують час проходження об'єму рідини між мітками а і б. За допомогою цього віскозиметра вимірюють кінематичну в'язкість за часом протікання досліджуваної рідини із положення а до положення б за формулою

$$\nu = \nu_0 \frac{T}{T_0} \quad (1.13)$$

де ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості стандартної рідини (найчастіше води), T – час витікання досліджуваної рідини із положення а до положення б, T_0 – час, на протязі якого рівень стандартної рідини опуститься з положення а до положення б.



Віскозиметр Хепплера. (рис.1.4). Цей тип віскозиметра дозволяє визначати час проходження кулею б, що падає, відстані між мітками 3 і 7 на скляній трубці 2 з досліджуваною рідиною.

Рис. 1.4. Віскозиметр Хепплера

Знаючи діаметр кульки, густину

речовини, з якої вона виготовлена, густину досліджуваної рідини і фіксуючи час падіння кульки між двома мітками, що знаходяться на певній відстані між собою, можна визначити динамічну в'язкість досліджуваної рідини за формулою

$$\mu = TK(\rho_K - \rho_p), \quad (1.13, a)$$

де T – час падіння кульки, ρ_K і ρ_p – густина кульки і рідини, відповідно, K – паспортна стала кульки.

i

1.6. Розчинність газів у рідинах

Одною з властивостей рідин є їх здатність поглинати і розчиняти гази, що їх оточують, утворюючи як мікроскопічні так і макроскопічні однорідні суміші, або захоплювати гази, внаслідок чого виникають двофазні системи..

Відносний об'єм газу, що розчиняється у рідині до повного її насичення, можна визначити за допомогою закону Генрі

$$\frac{V_g}{V} = k \frac{p}{p_0}, \quad (1.14)$$

де V_g – об'єм розчиненого газу, приведений до нормальних умов, V – об'єм рідини, p – тиск, k – коефіцієнт розчинності газу.

При зниженні тиску або температури рідини газ, що розчинений у ній, починає бурхливо виділятися у вигляді бульбашок, утворюючи механічну суміш газу з рідиною, що негативно впливає на роботу гідравлічних систем, внаслідок збільшення стисливості рідини.

i

1.7. Випаровування і кипіння рідин

Рідини у залежності від температури можуть переходити у твердий стан – крига чи у газоподібний – пара.

Пароутворення, яке відбувається на вільній поверхні рідини, називається випаровуванням. Випаровування властиве всім крапельним рідинам, але його інтенсивність залежить від роду рідини і умов, в яких вона знаходиться. Тому більш повною характеристикою випаровування є тиск насиченої пари, що відповідає температурі кипіння.

Насиченою парою називають пару, яка знаходиться в замкненому просторі в термодинамічній рівновазі з рідиною того ж хімічного складу. Тобто, кількість молекул, що покидають в одиницю часу рідину, дорівнюють кількості молекул, що повертаються з парової фази до рідини. У межах температур і

тисків, в яких можлива ця рівновага, кожній заданій температурі відповідає певний тиск насиченої пари. Чим більший тиск при заданій температурі, тим більша випарна спроможність рідини. Кипіння виникає, коли тиск насиченої пари при даній температурі дорівнює зовнішньому тиску.

Питання для самоперевірки знань

1. Предмет гідравліки. Що вивчає ця наука?
2. Зміст неукі гідравліки. Де використовується ця наука. Приклади.
3. Дати визначення поняття "рідина".
4. Дати визначення і пояснити зміст терміна "текучість".
5. Пояснити поняття ідеальна і реальна рідина.
6. Вільна поверхня рідини. Що вона собою являє?
7. Густина однорідної і неоднорідної рідини. Одиниці виміру.
8. Питома вага однорідної і неоднорідної рідини. Одиниці виміру.
9. Відносна питома вага і густина рідин. Навести приклади.
10. Дати визначення поняттю "в'язкість".
11. Закон внутрішнього тертя Ньютона.
12. Коефіцієнт динамічної і кінематичної в'язкості. Одиниці виміру.
13. Віскозиметрія. Що вивчає ця наука?
14. Будова і принцип дії віскозиметра Освальда-Пінкевича.
15. Будова і принцип дії віскозиметра Хепплера.

ЗМІСТ

Передмова.....	3
Вступ.....	3
Частина перша. Гідравліка.....	6
Розділ 1. Основні фізико-механічні властивості рідин.....	6
1.1. Рідина і її відмінність від твердих і газоподібних тіл.....	6
1.2. Густина і питома вага.....	7
1.3. Стисливість і пружність рідин.....	8
1.4. В'язкість.....	9
1.5. Віскозиметрія.....	10
1.6. Розчинність газів у рідинах.....	12
1.7. Випаровування і кипіння рідин.....	12
Питання для самоперевірки знань.....	13
Розділ 2. Гідростатика краплинних рідин.....	13
2.1. Сили, які діють на рідину.....	14
2.2. Гідростатичний тиск.....	15
2.3. Властивості гідростатичного тиску.....	16
2.4. Диференціальне рівняння рівноваги рідини. (Рівняння Л.Ейлера).....	18
2.5. Поверхні рівного тиску.....	21
2.5.1. Форма вільної поверхні рідини у стані спокою.....	22
2.6. Основне рівняння гідростатики.....	22
2.7. Розподіл тиску в об'ємі рідини. Закон Паскаля.....	24
2.8. Застосування основного закону гідростатики у техніці.....	26
2.8.1. Рівновага рідин у сполучених посудинах.....	27
2.8.2. Гідравлічний прес.....	28
2.8.3. Рідинні прилади для вимірювання тиску.....	29
2.9. Сила тиску рідини на плоскі поверхні.....	33
2.9.1. Гідростатичний парадокс.....	35

2.9.2. Епюри гідростатичного тиску.....	36
2.10. Відносний спокій рідини.....	38
2.10.1. Горизонтальний прямолінійний рух з прискоренням...	38
2.10.2. Рівномірне обертання посудини з рідиною навколо вертикальної осі.....	40
Питання для самоперевірки знань.....	42
Розділ 3. Основи кінематики і динаміки рідин (гідродинаміка).....	43
3.1. Кінематика рідин.....	43
3.1.1. Способи вивчення руху рідин.....	43
3.1.2. Основні поняття і терміни гідродинаміки.....	45
3.1.3. Види руху рідини.....	50
3.2. Основні рівняння гідродинаміки.....	53
3.2.1. Диференціальне рівняння руху ідеальної рідини Л.Ейлера.....	53
3.2.2. Рівняння Д.Бернуллі для елементарної струминки ідеальної рідини.....	56
3.2.3. Рівняння Бернуллі для усталеного руху реальної рідини в елементарній струминці і потоці	59
3.2.4. Умови застосування рівняння Бернуллі.....	61
3.2.5. Розкриття змісту рівняння Д.Бернуллі	62
3.2.6. Гідравлічний та п'єзометричний уклони.....	63
3.2.7. Практичне використання рівняння Бернуллі у техніці....	65
Питання для самоперевірки знань.....	70
Розділ 4. Основи теорії подібності. Ламінарний і турбулентний режими руху рідини.....	71
4.1. Два режими руху в'язкої рідини. Досліди О.Рейнольдса.....	71
4.2. Основи теорії подібності.....	73
4.2.1. Геометрична подібність.....	74
4.2.2. Кінематична подібність.....	75

4.2.3. Гідродинамічна подібність. Число Ньютона.....	76
4.2.4. Основні числа подібності.....	79
4.2.5. Характеристика режимів руху за числами Рейнольдса.....	81
4.3. Закономірність ламінарного режиму руху.....	82
4.3.1. Розподіл швидкостей у перерізі труби. Закон Стокса.....	82
4.3.2. Визначення витрати рідини і середньої у перерізі потoku швидкості. Закон Пуазейля.....	84
4.3.3. Втрати напору по довжині трубопроводу.....	86
4.4. Закономірності турбулентного руху рідини.....	87
4.4.1. Втрати стійкості руху потоком. Структура потоку.....	87
4.4.2. Пульсації швидкості і тиску.....	89
4.4.3. Додаткові втрати енергії – теорія А.Колмогорова.....	91
4.4.4. Розподіл швидкостей у турбулентному ядрі потоку...	93
4.4.5. Втрати напору по довжині потоку.....	95
4.5. Визначення лінійних втрат напору в трубопроводах.....	96
4.5.1. Гідравлічна шорсткість реальних поверхонь.....	96
4.5.2. Визначення коефіцієнтів опору тертя. Графік І. Нікурадзе.....	97
4.6. Місцеві гідравлічні опори.....	102
4.6.1. Раптове розширення потоку. Теорема Ж. Борда.....	103
4.6.2. Вплив в'язкості і режимів руху на коефіцієнти місцевих опорів.....	107
4.6.3. Накладання втрат напору. Взаємний вплив місцевих опорів.....	107
Питання для самоперевірки знань.....	109
Розділ 5. Гідравлічний розрахунок напірних трубопроводів.....	110
5.1. Загальні відомості.....	110
5.2. Розрахунок трубопроводів при усталеному русі рідини...	111

5.2.1. Розрахунок простих коротких трубопроводів.....	112
5.2.2. Прості короткі трубопроводи – сифони.....	115
5.2.3. Розрахунок трубопроводів за економічними показниками.....	118
Питання для самоперевірки знань.....	120
Розділ 6. Витікання з отворів і насадок.....	120
6.1. Класифікація отворів і випадків витікання рідин	120
6.2. Витікання рідини з малого отвору в боковій стінці ємності.....	123
6.3. Витікання рідин через патрубки і насадки	126
6.3.1. Циліндричний зовнішній насадок.....	127
Питання для самоперевірки знань.....	130
Частина друга. Гідравлічні машини.....	132
Розділ 7. Лопатеві відцентрові насоси.....	132
7.1. Призначення і класифікація гідравлічних машин.....	132
7.2. Основні робочі параметри насосів.....	135
7.3. Класифікація та принцип дії відцентрових насосів.....	137
7.4. Основи теорії відцентрових машин.....	139
7.4.1. Теоретичний напір динамічної лопатевої машини....	139
7.4.2. Основне рівняння відцентрових машин – Л.Ейлера..	140
8.5.3. Взаємозв'язок між теоретичним і дійсним напором...	143
7.4.4. Три типи лопатей робочого колеса насоса.....	144
7.4.5. Осьовий тиск у відцентрових насосах і методи його усунення.....	145
7.5. Основи теорії подібності відцентрових насосів.....	149
7.5.1. Аналіз подібних трикутників швидкостей.....	151
7.5.2. Три закони подібності відцентрових машин.....	153
7.6. Типізація лопатевих насосів за коефіцієнтами швидкохідності.....	156
7.7. Характеристики відцентрових насосів.....	

7.7.1. Дійсна характеристика насоса при сталій частоті обертання	159
Питання для самоперевірки	160
Розділ 8. Сумісна робота насоса і трубопроводу	163
8.1. Насосна установка і її характеристика, будова і принцип дії	164
8.2. Робоча точка відцентрового насоса і трубопроводу	164
8.3. Регулювання подачі відцентрових насосів	165
8.3.1. Дросельне регулювання при сталій частоті обертання вала	168
8.3.2. Регулювання зміною частоти обертання вала	168
8.3.3. Регулювання подачі перепуском рідини	170
8.4. Спільна робота насосів на один трубопровід	171
8.4.1. Паралельна робота насосів	172
8.4.2. Послідовна робота насосів	172
8.5. Висота установки насоса	174
8.6. Підбір відцентрового насоса за заданими робочими параметрами	176
Питання для самоперевірки знань	179
Розділ 9. Поршневі насоси	180
9.1. Класифікація поршневих насосів	181
9.2. Будова і принцип дії поршневого насоса	181
9.3. Подача поршневих насосів	182
9.4. Закон руху поршня при перекачуванні рідин	183
9.4.1. Нерівномірність подачі	186
9.5. Вирівнювання подачі повітряними ковпаками	187
9.6. Індикаторна діаграма	188
Питання для самоперевірки знань	189
Список рекомендованої літератури	192
	193