ЛЕКЦІЯ № 1 Загальні відомості з гідравліки

Змістовий модуль 1 “Основи гідравліки”

Тема: Загальні відомості з гідравліки

Мета: Ознайомитися з історією розвитку гідравліки.

Вивчити:

- історію розвитку гідравліки;
- основні властивості рідин.
- сили які діють на рідини.

План лекції

1. Задачі та структура дисципліни «Гідравліка».
2. Історія розвитку гідравліки, як науки.
3. Фізичні властивості рідин.
4. Сили які діють на рідини.

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А.Дідур, О.Д.Савченко, Д.П Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 3 - 13).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А.Дідур, О.Д.Савченко, С.І.Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем’єр, 2005. – 464 с.(с. 3 - 12).
3. Рогалевич, Ю.П. Гідравліка / Ю.П. Рогалевич; – К.: Вища школа, 1993. – 255 с. (с. 3 - 11).
4. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 3 - 13).
5. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П.Исаев, Б.И. Сергеев, В.А.Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400с. (с. 5 - 12).
6. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В.Карасев;–Минск: “Вышейшая школа”, 1983 – 288 с. (с. 4 - 10).
7. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И.Лаптев, Л.А.Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 3 - 17).

Матеріал лекції

1. Задачі та структура дисципліни «Гідравліка»

Гідравліка - наука в якій вивчаються закони рівноваги та руху рідин і

методи застосування цих законів в інженерній практиці.

Термін “гідравліка” походить від словосполучення двох грецьких слів “хюдор” - вода і “аулос” - труба, що в минулому відображало рух води в трубах. З розвитком науки- в гідравліці вивчається, крім води, рівновага та рух інших рідин не тільки в трубах, а і у інших посудинах та відкритих руслах – каналах і річках.

В гідравліці вивчаються краплинні рідини, тобто рідини які здатні утворювати краплини (на відміну від газів, які на це не здатні). Краплинні рідини є нестискуючими рідинами.

Краплинні рідини мають вільну поверхню, тобто поверхню розділу рідини з газами (повітрям) (рис. 1).

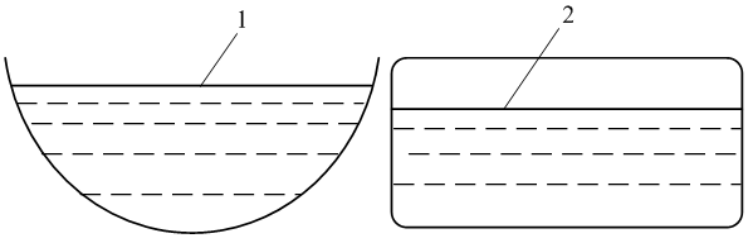

Рис. 1 Вільна поверхня рідини: 1 - у відкритій посудині (руслі); 2 - у закритій посудині.

Гідравліка складається з двох частин – гідростатики, в якій вивчається рівновага рідин, та гідродинаміки, в якій вивчається рух рідин. Базовими науками для гідравліки є вища математика, фізика, теоретична механіка та опір матеріалів.

В свою чергу гідравліка є базовою для наук гідротехнічного спрямування, а також наук з проектування, виготовлення, чи будівництва та експлуатації насосів, гідродинамічних передач, гідроприводів, гідротурбін, систем сільськогосподарського водопостачання та гідромеліоративних систем.

2. Історія розвитку гідравліки, як науки

Гідравліка – одна з найдавніших наук, розвиток якої можна умовно поділити на кілька етапів.

На першому етапі становлення гідравліки — від найдавніших часів до 250 р. до н.е. – людство накопичувало знання про практичне використання води, як найпоширенішої рідини в природі. За 7 тис. років до н.е. вже були пристрої для піднімання води, зрошувальні системи. Стародавні греки і римляни мали добрі судна, системи водопостачання для своїх міст, тощо. За 4 тис. років в Стародавньому Єгипті і за 1 тис. років до н.е. в Сірії і Китаї будувалися греблі і млини на ріках, зрошувальні системи.

Другий етап пов’язаний з іменем Архімеда, який написав трактат “Про плаваючі тіла” (250 р. до н.е.) У XV ст. з’являються нові праці з гідравліки, що належали Леонардо да Вінчі, але, побачивши світ лише через 400 років, вони не були своєчасно використані. В 1585 р. голландський вчений Сімон Стевін опублікував трактат “Начала гідростатики”, а Галілео Галілей в 1612 р. – трактат “Про тіла, що знаходяться у воді, і про ті, що в ній рухаються”. Значний внесок у розвиток гідравліки зробили і учні Галілео

Галілея. Так, Торрічеллі відкрив закон витікання рідини з отворів (1643 р.), Блез Паскаль – закон передавання тиску в рідині (1650 р.). Властивості рідин вивчали Ісаак Ньютон, А. Сен-Венан та ряд інших вчених. У 1738 р. Д. Бернуллі вивів своє знамените рівняння, яке є застосуванням закону збереження енергії до рухомої рідини, відкритого М.В. Ломоносовим. Леонард Ейлер розробив теоретичні основі гідромеханіки, запропонував її головні рівняння. Цим був покладений початок третього етапу розвитку гідравліки.

Розвиток наближених методів розв'язання практичних задач інженерної гідравліки можна умовно віднести до четвертого етапу. Провідна роль тут належить французьким інженерам А. Шезі, А. Дарсі, А. Базену, а з російських вчених - П. Петрову, Г. Шухову.

П'ятий етап – поглиблене вивчення фізичних властивостей рідин вченими Ж. Пуазейлем, Г. Хагеном, Д.І. Менделєєвим, О. Рейнольдсом, розроблення основ теорій подібності – започаткував розвиток прикладної гідромеханіки. Так, у 1823 р., А. Нав'є, а в 1845 р. Г. Стокс склали рівняння руху в'язкої рідини. Г. Гельмгольц у 1858 р. встановив основні властивості вихрового руху рідин.

На початку XX ст. виникла гідроаеродинаміка, яка базувалась на працях професора М.Є. Жуковського, академіка С.О. Чаплигіна, Людвіга Прандтля, Теодора Кармана, Отто Тіт'єнса. Гідроаеродинаміка, що визначала бурхливий розвиток авіації, значно вплинула і на розвиток гідравліки. На шостому етапі були розроблені теорія гідравлічного удару, теорія гребного гвинта суден, заснована російська школа теорії фільтрації, з'явилися гідродинамічна теорія мащення, теорія нерівномірного руху рідин у відкритих руслах (Б.О. Бахметєв, М.М. Павловський).

Засновником сучасного, сьомого етапу розвитку гідравліки вважається академік М.М. Павловський, який розвинув теорію фільтрації, дав метод електрогідродинамічних аналогій (ЕГДА), розв'язав ряд інших питань гідравліки. Значний вклад у розвиток гідравліки в цей період внесли вчені Й.І. Агроскін, О.Н. Ахутін, М.Т. Башта, М.А. Веліканов, М.М. Гришин, Ю.М. Даденков, Є.О. Замарін, І.О. Кібель, М.Є. Кочин, М.В. Кирпичов, Л.С. Лейбензон, А.І. Некрасов, Г.А. Нікітін, П.Я Полубаринова-Кочина, Г.Ф. Проскура, Г.Й. Сухомел, А.О. Угінчус, С.О. Христіанович, М.Д. Чертоусов, Р.Р. Чургаєв. та багато інших учених.

Значний внесок в розвиток гідравліки зроблений вченими та інженерами України. Так, ще в 1111 р. на р. Дніпро був побудований наплавний міст, що було безпосередньою реалізацію законів гідравліки на практиці.

Яскравим прикладом практичної реалізації законів гідравліки є Дніпровський гідроенергетичний комплекс, який складається з п'яти великих гідроелектростанцій та понад 150 малих гідроелектростанцій, які побудовані в Україні.

Безумовно, теоретичною базою для цих гідротехнічних споруд були закони гідравліки, застосування яких тепер здійснюється українськими

вченими та інженерами-гідротехніками, в процесі їх експлуатації.

3. Фізичні властивості рідин

Рідини – це речовини, що знаходяться в конденсованому агрегатному стані, проміжному між твердим і газоподібним. Це визначення в більш вузькому розумінні стосується краплинних рідин. Такі рідини не мають своєї форми, а приймають форму об'єму тієї посудини, в яку вони налиті.

Основними фізичними властивостями краплинних рідин є густина, питома вага, стисливість, об'ємне розширення і в'язкість. Крім того, рідини характеризуються великою рухливістю частинок внаслідок незначних сил міжмолекулярного зчеплення, великого опору стисненню і незначного опору розриванню.

Густина ρ , кг/м^3 — це маса рідини в одиниці її об'єму. Густина рідин визначається за формулою

$$\rho = m / W, \qquad (1)$$

де m - маса рідини, кг; W - об'єм рідини, м^3.

Наприклад, при температурі 4^0 С густина води ρ = 1000 кг/м$^{3.}$

Питома вага γ, Н/м^3 — це вага рідини в одиниці її об'єму. Питома вага рідини визначається за формулою:

$$\gamma = G / W, \qquad (2)$$

де G – вага рідини, Н.

Наприклад, при температурі 4 ^{0}С питома вага води γ = 9810 Н/м^3. Враховуючи, що згідно з другим законом Ньютона $G = mg$ і підставивши значення. G в рівняння (2) одержимо, $\gamma = \frac{m}{W} \cdot g$, а так як відношення $\frac{m}{W}$ є густина рідни, то між питомою вагою і густиною рідини існує зв'язок, який описується формулою:

$$\gamma = \rho \cdot g \qquad (3)$$

де g – прискорення вільного падіння, м^2/с. В розрахунках приймається g= 9,81 м/с^2.

Стисливість – властивість рідин змінювати об'єм при зміні тиску. Стисливість рідин характеризується ***коефіцієнтом об'ємного стиснення*** β_w, 1/Па, значення якого описується формулою:

$$\beta_w = -\frac{\Delta W}{W_0} \cdot \frac{1}{\Delta p}, \qquad (4)$$

де ΔW – зміна об'єму рідини, м^3; W_0 - початковий об'єм рідини, м^3; Δp - зміна тиску, Па, (Н/м^2).

Знак мінус в рівнянні (4) показує, що збільшенню тиску відповідає зменшення об'єму рідини.

Величина зворотна коефіцієнту об'ємного стиснення називається ***модулем об'ємної пружності*** рідини, Е, Па, тобто Е = 1/β_w.

Наприклад, для води при температурі 4^{0}С $\beta_w = (2 \cdot 10^9)^{-1}$ Па$^{-1}$, а Е =

$2 \cdot 10^9$Па. Таким чином, це дає можливість воду, як і інші краплинні рідини, у більшості випадків вважати нестисливими.

Температурне розширення – властивість рідин змінювати свій об'єм при зміні температури. Температурне розширення рідини характеризується ***коефіцієнтом температурного розширення*** β_t, значення якого описується формулою:

$$\beta_t = \frac{\Delta W}{W_o} \cdot \frac{1}{\Delta t}, \qquad (5)$$

де Δt – зміна температури, ^{0}C. Наприклад, для води при температурі 20^0C і тиску 10^5 Па, β_t, = 0,00015 ^{0} C^{-1}, що свідчить про незначимість зміни об'єму, як води так і інших рідин, при реальних незначних коливаннях температури і тиску.

В'язкість – здатність рідини чинити опір відносному зсуву своїх частинок під дією зовнішніх сил. На основі експериментів встановлено, що при русі рідини швидкість її в різних точках потоку різна. Так, якщо розглядати рух рідини між двома паралельними пластинами нескінченної довжини одна з яких нерухома, а друга рухається зі швидкістю **u**, то виявиться, що швидкість руху кожної точки (кожного шару) рідини пропорційна відстані точки (шару) рідини **y** від нерухомої пластини. Внаслідок цього між шарами виникають відносні зсуви зі швидкістю Δu, що приводить до виникнення сил внутрішнього тертя.

Вперше наявність внутрішнього тертя в рідині була відзначена І.Ньютоном ще у 1687 р. в гіпотезі про те, що сила внутрішнього тертя між шарами рідини залежить від властивостей рідини і пропорційна площі поверхні дотику шарів (площі тертя), відносній швидкості руху і не залежить від зовнішнього тиску. Достовірність гіпотези доказана І. Ньютоном в його праці "Тертя в машині і вплив змащувальної рідини". Ним же була і запропонована залежність для сили внутрішнього тертя:

$$T = \mu S \frac{\Delta u}{\Delta y} = \mu S \frac{du}{dy}, \qquad (6)$$

де μ – коефіцієнт в'язкості (динамічна в'язкість); S - площа поверхні контактуючих шарів рідини; $\Delta u/\Delta y$ - градієнт швидкості по нормалі до напрямку руху; Δu - швидкість зсуву одного шару відносно другого; Δy - відстань між осями двох суміжних шарів.

З рівняння (6) випливає, що сила внутрішнього тертя $T = 0$ при $\Delta u = du = 0$. Таким чином, можна зробити висновок, що в'язкість виявляється лише під час руху рідини. Розділивши рівняння (6) на площу S, дістанемо напруження тертя τ

$$\tau = T / S = \pm \mu \Delta u / \Delta y = \pm \mu du / dy \qquad (7)$$

З останньої формули $\mu = \tau dy / du$, звідки випливає, що розмірність μ в системі СІ є (Па·с). Десяту частку цієї одиниці (0,1 Па·с) називають ***пуазом*** (П) на честь професора Ж. Пуазейля. Для більшості рідин динамічна в'язкість

μ практично не залежить від тиску і градієнта швидкості, але на неї помітно впливає температура.

В додатках приведені значення одиниць, які відрізняються від одиниць в системі СІ і тих які прийняті в даному посібнику.

Розділимо динамічну в'язкість на густину рідини і одержимо ***кінематичну в'язкість***

$$\nu = \mu / \rho \qquad (8)$$

Розмірність кінематичної в'язкості – $м^2/с$.

Величину $1 \cdot 10^{-4}$ $м^2/с$ називають стоксом (1 Ст = 1 $см^2/с$) (на честь англійського вченого Г.Стокса).

Кінематична в'язкість води ($см^2/с$) при атмосферному тиску може бути знайдена за формулою Ж. Пуазейля:

$$\nu = \frac{0{,}0178}{1 + 0{,}337t + 0{,}00022t^2}\ , \qquad (9)$$

де t – температура, ^0C.

Як видно з цієї формули, із зростанням температури в'язкість води зменшується.

Вимірюють в'язкість рідини віскозиметрами. Працюють вони за таким принципом (рис. 3): у посудину 5 заливають 200 мл досліджуваної рідни, а потім за допомогою електропідігрівання підвищують її температуру до 20^0C. Термометри 2 і 3 призначені для контролю за температурою водяної бані 1 і досліджуваної рідини. Піднявши запірну голку 4, вимірюють час витікання рідини через калібрований отвір 8 у посудину 7. Частка від ділення часу витікання досліджуваної рідини $T_р$ на час витікання такої ж кількості дистильованої води $T_в$ температурою 20^0C характеризує її в'язкість у градусах Енглера

$$^0E = T_P / T_B \qquad (10)$$

Перерахунок в'язкості вираженої в градусах Енглера в кінематичну, здійснюється за формулою:

$$\nu = (0{,}0731^0E - 0{,}0631/^0E)10^{-4}\ , м^2/с \qquad (11)$$

У таблиці 1 наведена кінематична в'язкість деяких рідин, які широко застосовуються.

Таблиця1 - Кінематична в'язкість, ν рідин

Рідина	t, ^0C	ν, Ст	Рідина	t, ^0C	ν, Ст
Гліцерин безводний	20	11,89	Бензин	15	0,006
Вода	15	0,0152	Газ	18	0,025
Мазут	18	20,0	Нафта	18	0,25…1,4
			Патока	15	420

Масло АМГ-10 Ртуть	50 15	0,10 0,0011	Спирт етиловий	18	0,00155

Капілярність – здатність рідин підніматися або опускатися в трубках малого діаметра (капілярах). Обумовлене це явище силою поверхневого натягу рідини, внаслідок чого в капілярах поверхня рідини приймає скривлену форму (меніск). Рідина, яка змочує стінки капіляра (наприклад, вода зі склом), має увігнутий меніск і вода по такому капіляру піднімається(внаслідок того, що сила взаємодії між частками рідини і стінками капіляра більша ніж між частками усередині рідини). Рідина, яка не змочує стінки капіляра (наприклад, ртуть зі склом) має випуклий меніск і ртуть по такому капіляру не піднімається (внаслідок того, що сила взаємодії між частками і стінками капіляра менша ніж між частками у середні рідини). Висота підняття чи опускання рідини в капілярах визначається за формулою:

$$h_{кат} = \frac{4\sigma \cdot \cos\theta}{\rho g d}, \qquad (12)$$

де σ – коефіцієнт поверхневого натягу (при t = 20^0C і контакт із повітрям, дорівнює: для води - 0,081; для бензину – 0,021; для ртуті - 0,541; для мастил 0,035…0,038); θ - кут між дотичною до вільної поверхні, (поверхні меніска) в точці перетину меніска з стінкою і самою стінкою капіляра (для води і скла θ = 0^0, для ртуті і скла θ = 50^0); d – діаметр капіляра, м. При температурі 20^0 С в трубці діаметром d висота капілярного підняття води складає 30/d; спирту 11,5/d, а ртуті – 10,15/d мм.

За законами капілярності рухаються ґрунтові води, міжшарові води в водоносних шарах.

Слід відзначити, що інколи для розв'язування практичних задач необхідно відмовитись від деяких фізичних властивостей рідини. Тільки в такому випадку стає можливим (або більш простим) математичне описання того чи іншого явища. Для цього використовують модель ***ідеальної*** рідини. Ідеальна рідина — це рідина, що вважається нестисливою і не може розширюватись, в ній абсолютно відсутня в'язкість.

4. Сили які діють на рідини

На рідину, що знаходиться в стані рівноваги чи руху, діють внутрішні і зовнішні сили. Внутрішні (міжмолекулярні)- це сили, що діють між частками рідини усередині її і в гідравліці вони не враховуються. Зовнішні це сили, які – обумовлені зовнішніми факторами. Зовнішні сили, що діють на рідину діляться на масові і поверхневі.

Масові сили - це сили які діють на кожну частку рідини, тобто сили, роззосереджені по усій масі рідини. Їх ще називають об'ємними силами. До масових сил відносяться сила тяжіння (ваги) та сила інерції.

Поверхневі сили – це сили прикладені до поверхні, яка обмежує рідину, або до поверхні проведеної довільно усередині рідини. До

поверхневих сил відносяться нормальна до поверхні рідини сила тиску p, наприклад, сила атмосферного тиску та сила тиску суміжних шарів рідини (по відношенню до шару, або об'єму рідини що розглядаються), а також дотична до поверхні сили тертя.

В стані рівноваги на рідину діють: із масових сил сила тяжіння (ваги) та сила інерції, із поверхневих сил нормальна сила тиску та сила тиску суміжних шарів. В стані руху рідини, крім вище перерахованих сил, на неї діє дотична до поверхні сила тертя.

Питання для самоконтролю до лекції №1.

1. Що вивчає гідростатика?
2. Які вчені є основоположниками гідравліки?
3. В яких галузях техніки застосовуються закони гідравліки?
4. За якою формулою визначається густина рідини?
5. Які основні фізичні властивості рідин?
6. Що таке рідина взагалі та реальна й ідеальна рідини зокрема?
7. Які рідини вважаються краплинними?
8. Яким приладом вимірюється в'язкість рідин?
9. Які сили діють на рідини, що знаходяться в стані рівноваги та руху?