МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ
ЗА ДИСЦИПЛІНОЮ «ГІДРОГАЗОДИНАМІКА»
ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ
185 «НАФТОГАЗОВА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»

Дніпро
НТУ «ДП»
2024

Методичні вказівки до самостійної роботи за дисципліною «Гідрогазодинаміка» для студентів спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології». – Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д., : НТУ «ДП», 2024. – 21 с.

Автор:

Ігнатов А.О., канд. техн. наук, доцент

Затверджено методичною комісією зі спеціальності 185 Нафтогазова інженерія та технології (протокол № 8 від 09.07.2024 р.) за поданням кафедри нафтогазової інженерії та буріння (протокол № 19 від 09.07.2024 р.).

Методичні вказівки призначені для сприяння студентам у самостійному вивченні основних аспектів теоретичних питань щодо протікання гідрогазодинамічних процесів, які супроводжують рух нафти і газу та технологічних рідин в пласті/свердловинах/промислових і магістральних трубопроводах із застосуванням законів термодинаміки, гідравліки і газової динаміки та сучасних методик відповідних розрахунків.

ЗМІСТ

ВСТУП 4
1. МЕТА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ 5
2. ОЧІКУВАНІ ДИСЦИПЛІНАРНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ 5
3. БАЗОВІ ДИСЦИПЛІНИ 5
4. ОБСЯГ І РОЗПОДІЛ ЗА ФОРМАМИ ОРГАНІЗАЦІЇ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ ТА ВИДАМИ НАВЧАЛЬНИХ ЗАНЯТЬ 6
5. ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ ЗА ВИДАМИ НАВЧАЛЬНИХ ЗАНЯТЬ 6
6. ВКАЗІВКИ ДО САМОСТІЙНОГО ОПАНУВАННЯ ОКРЕМИХ ТЕМ 9
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 20

ВСТУП

Гідрогазодинаміка – наука, яка вивчає закони рівноваги та руху рідини та газу, розробляє методи їх застосування для практичних розрахунків.

Розділ гідравліка складається з таких розділів: *гідроаеростатика* (розглядає рідину у стані спокою, а також дію рідини у стані спокою на конструкції) та *гідродинаміка* (вивчає рідину у русі (основний розділ)).

Механіка суцільного середовища вивчає рух газових, рідких та твердих тіл. Історія розвитку науки завжди пов'язана з розвитком суспільства, його запитами. Початок розвитку гідромеханіки пов'язаний з іменем давньогрецького вченого Архімеда, який зробив величезний внесок у гідростатику.

В XIX ст. почалась епоха відродження в країнах Західної та Центральної Європи. Видатною фігурою цієї епохи був Леонардо да Вінчі. Він обґрунтував закон суцільності рідини.

Особливе місце у механіці рідин займають дослідження Ісака Ньютона. Багато основних концепцій процесів у суцільних середовищах ґрунтуються на фундаментальних законах Ньютона.

Величезна роль у гідромеханіці належить Даніілу Бернуллі та Леонарду Ейлеру.

Під час досліджень гідравлічних явищ та розрахунків у гідравліці застосовують аналітичний та експериментальний методи. В аналітичному методі застосовують рівняння механіки та отримують рівняння руху і рівноваги рідини. Через складність будови рідин аналітичні дослідження проводять для модельних рідин, що спрощує застосування рівнянь механіки.

Експериментальні дослідження мають велике значення. Тут доцільно привести слова Леонардо да Вінчі: «Кожний раз, коли маєш діло з водою, звернись до експерименту, а потім вже міркуй»..

1. **Мета дисципліни** – формування компетентностей щодо виконання інженерних розрахунків основних параметрів гідрогазодинамічних процесів, які супроводжують рух нафти, газу і спеціальних технологічних рідин в продуктивному пласті, свердловинах, промислових і магістральних трубопроводах, відповідно, із врахуванням основних законів гідрогазодинаміки.

2 ОЧІКУВАНІ ДИСЦИПЛІНАРНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Шифр ПРН	**Дисциплінарні результати навчання (ДРН)**	
	шифр ДРН	**зміст**
РН11	РН11.1-Ф6	Розуміти теоретичні засади гідрогазодинаміки, знати фізичні властивості крапельних рідин
	РН11.2-Ф6	Знати теоретичні положення гідростатики, вміти розраховувати тиск внерухомій рідині та сили тиску її на обмежувальні поверхні
	РН11.3-Ф6	Знати методи описування руху рідини, розуміти сутність рівняння нерозривності та рівняння Бернуллі, вміти користуватися цими рівняннями при виконанні розрахунків рідинних потоків
	РН11.4-Ф6	Знати види гідравлічних опорів, розуміти сутність дослідів Рейнольдса, вміти розраховувати втрати напору на опорах залежно від режиму руху рідини
	РН11.5-Ф6	Вміти виконувати гідравлічні розрахунки свердловинного циркуляційного контуру,трубопроводів, розуміти сутність гідравлічного удару в трубопроводі
	РН11.6-Ф6	Вміти визначати параметри струменя при витіканні рідини через отвори та насадки

3 БАЗОВІ ДИСЦИПЛІНИ

Назва дисципліни	**Здобуті результати навчання**
Б2 Хімія	демонструвати застосування базових понять, основаних законів фізики та хімії для прогнозування та аналізу фізико-хімічних властивостей нафти, конденсату і природного газу в процесах їх видобування, буріння свердловин, транспортування та зберігання
Б3 Фізика	застосовувати математичні методи для визначення конкретних значень технологічних параметрів нафтогазових свердловин, систем підготовки нафти і газу, промислових та магістральних газонафтопроводів, газонафтосховищ, інших елементів системи газонафтопостачання
Ф1 Фізика гірських порід Ф23 Гідрогеологія нафтогазових родовищ	аналізувати геологічні процеси, базові закономірності формування та властивості гірських порід, у тому числі нафтогазових покладів
Ф19 Основи нафтогазової справи	аналізувати та розробляти елементи технологічних схем та технічних пристроїв систем буріння свердловин, видобування, транспортування та зберігання нафти і газу

4 ОБСЯГ І РОЗПОДІЛ ЗА ФОРМАМИ ОРГАНІЗАЦІЇ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ ТА ВИДАМИ НАВЧАЛЬНИХ ЗАНЯТЬ

Вид навчальних занять	**Обсяг,** *години*	**Розподіл за формами навчання**, *години*			
		денна		**заочна**	
		аудиторні заняття	самостійна робота	аудиторні заняття	самостійна робота
лекційні	80	34	46	6	74
практичні	40	17	23	4	36
РАЗОМ	120	51	69	10	110

5 ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ ЗА ВИДАМИ НАВЧАЛЬНИХ ЗАНЯТЬ

Шифри ДРН	**Види та тематика навчальних занять**	**Обсяг складових,** *години*
	ЛЕКЦІЇ	**80**
РН11.1-Ф6	**1. Гідрогазодинаміка та її метод. Основні фізичні властивості крапельних рідин** 1.1. Рідина як текуче суцільне середовище. Вільна поверхня рідини. 1.2. Поняття про густину рідини, її стисливість, пружність, температурне розширення, розчинність газів у рідині, кавітацію, капілярність, в'язкість. Одиниці виміру фізичних величин. 1.3. Сили, що діють у рідині. Поняття про ідеальну рідину.	8
РН11.2-Ф6	**2. Гідростатика та основні її положення** 2.1. Гідростатичний тиск та його властивості. 2.2. Диференціальне рівняння рівноваги рідини. 2.3. Поняття про поверхню рівня, її рівняння та вигляд для важливихпрактичних випадків. 2.4. Основне рівняння гідростатики та методика його використання. 2.5. Види тисків, п'єзометрична висота та її вимірювання. 2.6. Закон Паскаля.	10
РН11.3-Ф6	**3. Силовий вплив рідини на обмежувальні поверхні** 3.1. Сила тиску рідини на плоску стінку. Центр тиску та його координати. Гідростатичний парадокс. 3.2. Сила тиску рідини на криволінійну стінку. Поняття про тіло тиску та його границі. 3.3. Сила тиску рідини на стінку круглої труби. Методика визначення потрібної товщини стінки труби. 3.4. Закон Архімеда.	10

Шифри ДРН	Види та тематика навчальних занять	Обсяг складових, *години*
РН11.4-Ф6	**4. Основи кінематики рідини. Основні поняття та визначення** 4.1. Методи описування руху рідини. Види руху. 4.2. Кінематичні елементи струминної моделі потоку – лінія току,трубка току, елементарний струмінець. 4.3. Види потоків рідини та їхні гідравлічні елементи – живий переріз, змочений периметр, гідравлічний радіус.	10
РН11.5-Ф6	**5. Основні положення гідродинаміки** 5.1. Рівняння Бернуллі для елементарного струмінця нев'язкої рідини, його геометричний та енергетичний зміст. Повний напір у живому перерізі струмінця та вимірювання його складових, повнийтиск у перерізі, напірні лінії. 5.2. Врахування втрат напору між живими перерізами струмінцяв'язкої рідини. 5.3. Рівняння Бернуллі для потоку реальної рідини. 5.4. Потужність потоку в живому перерізі. 5.5. Методика використання рівняння Бернуллі для розв'язання задач.	12
РН11.6-Ф6	**6. Гідравлічні опори та визначення втрат напору на них. Режими руху рідини** 1. Поняття про гідравлічні опори та загальний метод розрахункувтрат напору на них. Принцип складання втрат напору. 2. Досліди Рейнольдса, режими руху рідини, число Рейнольдса. 3. Ламінарний режим руху рідини та його закономірності. Законгідравлічного опору при ламінарному режимі. 4. Турбулентний режим руху рідини та його закономірності – пульсація швидкостей та тисків, структура потоку, поняття про гідравлічно гладкі та шорсткі труби, закони гідравлічного опору при турбулентному режимі. 5. Особливості підрахунку втрат напору на місцевих опорах, поняття про еквівалентну довжину місцевого опору.	12
РН11.7-Ф6	**7. Гідравлічний розрахунок свердловинного циркуляційного контуру трубопроводів** 7.1. Поняття про інженерний розрахунок свердловинного	12

Шифри ДРН	Види та тематика навчальних занять	Обсяг складових, *години*
	циркуляційного контуру 7.2. Поняття про напірні гідравлічні системи. Види трубопроводів. 7.3. Простий трубопровід незмінного перерізу, його гідравлічнийопір та характеристика. Сифон. 7.4. Розрахунок послідовно та паралельно з'єднаних трубопроводів. 7.5. Трубопровід із шляховою витратою рідини. 7.6. Гідравлічний удар в трубопроводах.	
РН11.8-Ф6	**8. Витікання рідини через отвори та насадки** 1. Витікання рідини через малі отвори в тонкій стінці при сталому напорі. 2. Витікання рідини через насадки. 3. Витікання рідини через малі отвори при змінному напорі. Опорожнення резервуара. 4. Витікання рідини через великий боковий отвір.	6
	ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ	**40**
РН11.1-Ф6 РН11.2-Ф6	**1 Основні фізичні властивості крапельних рідин. Сили, що діють у рідині. Поняття про ідеальну рідину**	10
РН11.3-Ф6	**2 Загальні гідравлічні розрахунки**	10
РН11.4-Ф6	**3 Гідравлічні розрахунки трубопроводів**	10
РН11.5-Ф6 РН11.6-Ф6 РН11.7-Ф6 РН11.8-Ф6	**4 Визначення параметрів струменя при витіканні рідини через отвори та насадки**	10
	РАЗОМ	**120**

6 ВКАЗІВКИ ДО САМОСТІЙНОГО ОПАНУВАННЯ ОКРЕМИХ ТЕМ

При самостійному вивчені дисципліни студент повинен особливу увагу звернути на виділені тематичні визначення, додержуючись необхідності відповідати на означені контрольні запитання.

Гідрогазодинаміка та її метод. Основні фізичні властивості крапельних рідин

Рідина як текуче суцільне середовище. Вільна поверхня рідини.

Поняття про густину рідини, її стисливість, пружність, температурне розширення, розчинність газів у рідині, кавітацію, капілярність, в'язкість.

Одиниці виміру фізичних величин.

Сили, що діють у рідині. Поняття про ідеальну рідину.

Основні поняття, що повинні знати студенти:

Рідиною **називається фізичне тіло, яке володіє двома характерними особливостями: незначною зміною свого об'єму під дією великих зовнішніх сил та текучістю, тобто зміною своєї форми під дією навіть незначних зовнішніх сил.**

Рідина **– фізичне тіло, яке володіє легкою рухливістю часток, не має своєї форми та приймає форму посудини, в яку поміщено.**

Рідину поділяють на: крапельну (вода) и газоподібну (стиснене повітря).

До фізичних властивостей рідин належать:

– питома маса та питома вага;
– стиснення;
– температурне розширення;
– текучість;
– в'язкість.

Питомою масою або щільністю ρ (кг/м^3) називається маса одиниці об'єму рідини. Щільність рідин зменшується разом зі збільшенням температури. Виключення представляє вода у діапазоні температур від 0 до 4 ^{0}C, коли її щільність збільшується, досягаючи найбільшого значення при температурі 4^{0}C ρ = 1 000 кг/м^3.

Сили, які діють на рідину, можна розділити на дві групи: внутрішні та зовнішні. Внутрішні сили – це сили взаємодії між частками рідини. Зовнішні – сили, які прикладені до часток об'єму рідини, що розглядається, з боку інших тіл. Зовнішні сили, в свою чергу, діляться на масові та поверхневі (рис. 2.1).

Поверхневі сили прикладені до окремих часток, що знаходяться на поверхні розділу, пропорційні площі поверхні, на яку діють. Вони передаються від частки до частки без зміни. Наприклад, атмосферний тиск, який діє на вільну поверхню, а також сили тертя.

Масові сили – ці сили діють на всі частки об'єму рідини, що розглядається, величина сил пропорційна масі цих часток. Передаються від частки до частки, їх загальну суму складають.

Питання для самоконтролю, що повинні знати студенти:

1. Дайте визначення рідини. Якими фізичними властивостями вона володіє?

2. Наведіть визначення питомої маси та питомої ваги рідини. Який між ними взаємозв'язок?
3. Дайте характеристику таких фізичних властивостей рідини як стиснення та температурне розширення.
4. Дайте визначення в'язкості. Яким чином вона визначається?
5. Назвіть сили, які діють на рідину у стані спокою.
6. Дайте визначення гідростатичного тиску та його властивостей.
7. Наведіть алгоритм визначення диференційного рівняння рівноваги рідини.
8. Дайте визначення закону Паскаля, його практичне застосування.
9. Які ви знає види тиску в рідини? Наведіть основні типи приладів для визначення тиску.
10. У чому полягає закон сполучених посудин? Його практичне застосування.
11. Дайте визначення гідростатичного та п'єзометричного напорів.
12. Дайте визначення питомої потенційної енергії рідини у стані спокою.

Рекомендована література:

1 Гідравліка, гідро- та пневмоприводи. Частина 1. Основні закони, рівняння і визначення : навчальний посібник / Я.В. Іванчук, Р.Д. Іскович-Лотоцький. – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 183 с.
2 Гідравліка, гідро- та пневмоприводи: конспект лекцій / укладач Е.В. Колісніченко, А.С. Мандрика, В.О Панченко. – Суми : Сумський державний університет, 2021. – 176 с.

Гідростатика та основні її положення

Гідростатичний тиск та його властивості.
Диференціальне рівняння рівноваги рідини.
Поняття про поверхню рівня, її рівняння та вигляд для важливих практичних випадків.
Основне рівняння гідростатики та методика його використання.
Види тисків, п'єзометрична висота та її вимірювання.
Закон Паскаля.

Основні поняття, що повинні знати студенти:

Якщо тіло знаходиться у рідині або газі, то на нього діє сила, спрямована протилежно силі земного тяжіння, яка називається архімедовою силою.

1. Якщо архімедова сила більша сили тяжіння, то тіло буде підніматися з рідини, спливати. У випадку з газом це проявляється як підняття вгору, наприклад, наповнена гелієм повітряна кулька.

2. Якщо архімедова сила дорівнює силі тяжіння, то їх загальна сила дорівнює 0, і тіло може перебувати в рівновазі в будь-якому місці рідини (вільно плавати).

3. Якщо архімедова сила менша сили тяжіння, то тіло буде опускатися на дно, тонути.

4. Якщо густина тіла менша густини рідини, то архімедова сила більша ваги тіла, і тіло спливає (і після цього плаває на поверхні рідини).

5. Якщо густина тіла дорівнює густині рідини, то архімедова сила дорівнює вазі тіла, і тіло плаває всередині рідини.

6. Якщо густина тіла більша густини рідини, то архімедова сила менша ваги тіла, і тіло тоне.

Питання для самоконтролю, що повинні знати студенти:

1. Дайте визначення епюри гідростатичного тиску. Наведіть епюри гідростатичного тиску у резервуарах з різними видами тиску.
2. Наведіть схему та алгоритм визначення сили тиску на пласкі стінки і дно резервуарів.
3. Наведіть схему та алгоритм визначення сили тиску на криволінійні стінки резервуарів.
4. Що таке позитивне та негативне тіло тиску і для визначення якої величини застосовують ці поняття?
5. Сформулюйтезакон Архімеда.
6. Дайте основні визначення теорії плавання тіл..

Рекомендована література:

1 Гідрогазодинамічні процеси при спорудженні та експлуатації свердловин. Монографія. А.В. Павличенко, Є.А. Коровяка, А.О. Ігнатов, О.М. Давиденко. - Дніпро: НТУ "ДП", 2021. – 201 с.

2 Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Гідрогазодинаміка» для студентів спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології» / Упоряд.: А.О. Ігнатов. – Д.: НТУ «Дніпровська політехніка», 2024. – 29 с.

Силовий вплив рідини на обмежувальні поверхні

Сила тиску рідини на плоску стінку. Центр тиску та його координати.

Гідростатичний парадокс.

Сила тиску рідини на криволінійну стінку. Поняття про тілотиску та його границі.

Сила тиску рідини на стінку круглої труби. Методика визначення потрібної товщини стінки труби.

Закн Архімеда.

Основні поняття, що повинні знати студенти:

Гідростатика це розділ гідромеханіки, що вивчає закони рівноваги рідин, які перебувають у стані абсолютного чи відносного спокою та рівноваги тіл, занурених у рідини за умови, коли відсутні переміщення часток рідини одна відносно одної.

Рідина, що перебуває у стані спокою у системі координат, зв'язаній із Землею, знаходиться в абсолютному спокої. Спокій рідини у системі координат, котра рухається відносно Землі, називають відносним.

У загальному випадку рідина зазнає дії масових і поверхневих сил. При цьому спокій рідини спостерігається тільки у випадку, коли масові сили мають потенціал і постійні у часі. Зазвичай, розглядають стан спокою рідини, що піддається дії сил гравітації та інерції.

Основне завдання гідростатики

Одне з основних завдань гідростатики - вивчення розподілу тиску в рідині.

Знаючи розподіл тиску на підставі законів гідростатики, можна розрахувати сили, що діють з боку рідини, що знаходиться в стані спокою, на занурені в неї тіла, наприклад, на стіну греблі, занурений трубопровід, конструкції морських нафто- і газовидобувних платформ тощо. Зокрема, можна вивести умови плавання тіл на поверхні або усередині рідини, а також з'ясувати, за яких умов тіла, що плавають будуть мати стійкість, що особливо важливо в кораблебудуванні. На законах гідростатики, зокрема на законі Паскаля, ґрунтується робота гідравлічного преса, гідравлічного акумулятора, рідинного манометра, сифона й багатьох ін. машин і приладів.

Рідина, на відміну від твердих тіл, має властивість текучості, саме тому в рідині не може існувати анізотропії напружень, а значить замість багатокомпонентного тензора, напруження в рідині описується скалярною величиною - тиском.

Питання для самоконтролю, що повинні знати студенти:

1. Які сили, що діють в рідині, називаються масовими?
2. Дайте визначення поверхневих сил, що діють у рідині.
3. Чи здатні крапельні рідини чинити опір розтягуючим силам?
4. Дайте визначення ідеальної рідини. З чим пов’язане використання цієї моделі рідини?

Рекомендована література:

1 Гідравліка, гідро- та пневмоприводи: конспект лекцій / укладач Е.В. Колісніченко, А.С. Мандрика, В.О Панченко. – Суми : Сумський державний університет, 2021. – 176 с.

2 Шевченко Т.О. Гідравліка: конспект лекцій для студентів 1-2 курсів денної та заочної форм навчання освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 263 – Цивільна безпека, освітніх рівнів «бакалавр» та «спеціаліст» спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія. / Т.О. Шевченко; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2018. – 109 с.

Основи кінематики рідини. Основні поняття та визначення

Методи описування руху рідини. Види руху.

Кінематичні елементи струминної моделі потоку – лінія току,трубка току, елементарний струмінець.

Види потоків рідини та їхні гідравлічні елементи – живий переріз, змочений периметр, гідравлічний радіус.

Основні поняття, що повинні знати студенти:

***Гідродинаміка* – розділ гідромеханіки, який вивчає закони руху рідини та взаємодії з тілами, які нею омиваються. Причина руху рідини – це дія сил на неї(зовнішній тиск і гравітація).**

Основними параметрами, які характеризують рух, являються внутрішній тиск (*p*) та швидкість (*u*) в окремих точках. Тиск називають *гідродинамічним*. У загальному випадку швидкість і тиск є функціями координати та часу.

Задача гідродинаміки – вивчити взаємодію між швидкістю і тиском в окремих

точках.

Види руху. Залежно від зміни основних параметрів *p* та *и* розрізняють два види руху: сталий та несталий.

Сталий рух може бути рівномірним та нерівномірним.

***Рівномірний* – швидкість, а в ряді випадків і тиск не змінюються упродовж потоку. Залежно від причини рух може бути напірним, безнапірним або вільним струменем.**

***Напорним* називається рух рідини, яка з усіх сторін обмежена твердими стінками, причиною руху являється різниця тисків на початку та наприкінці системи.**

***Безнапірний рух* – це, коли частина периметру рідини не обмежена твердими стінками, тобто є вільна поверхня, причиною руху являється сила тяжіння.**

***Вільний струмінь* – потік, який не обмежений стінками.**

Рідина, що перебуває у стані спокою у системі координат, зв'язаній із Землею, знаходиться в абсолютному спокої. Спокій рідини у системі координат, котра рухається відносно Землі, називають відносним.

***Лінія току* – лінія, в кожній точці якої вектор швидкості направлений по дотичній. Під час сталого руху лінія току співпадає з траєкторією частки, яка рухається.**

***Трубка току* – елементарна площина, через контур якої проведені лінії току.**

***Елементарний струмінь* – частина рідини, яка обмежена трубкою току; сукупність ліній току, які проходять через елементарну площину.**

Елементарний струмінь володіє наступними властивостями:

1. Форма елементарного струменя остається незмінною у часі.
2. Обмін частками між окремими струменями не можливий (вектор швидкості направлений по дотичній, нормальна складова дорівнює 0).

Швидкість і тиск в усіх точках перерізу однакові через те, що переріз дуже малий.

Питання для самоконтролю, що повинні знати студенти:

1. Дайте визначення гідродинаміки та основних гідравлічних параметрівпотоку рідини, яка рухається.
2. Назвіть основні елементи потоку, дайте їх визначення.
3. Наведіть алгоритм визначення рівняння нерозривності руху рідини дляелементарного струменя і для потоку рідини.
4. Які ви знаєте режими руху рідини? Яким чином можна їх визначити?
5. Що таке критичні швидкості? Наведіть схему лабораторної установкидля визначення режимів руху рідини.
6. Наведіть диференціальні рівняння руху ідеальної рідини. Що отримують в результаті інтегрування цих рівнянь?

Рекомендована література:

1 Гідравліка, гідро- та пневмоприводи. Частина 1. Основні закони, рівняння і визначення : навчальний посібник / Я.В. Іванчук, Р.Д. Іскович-Лотоцький. – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 183 с.

2 Гідравліка, гідро- та пневмоприводи: конспект лекцій / укладач Е.В. Колісніченко, А.С. Мандрика, В.О Панченко. – Суми : Сумський державний університет, 2021. – 176 с.

Основні положення гідродинаміки

Рівняння Бернуллі для елементарного струмінця нев'язкої рідини, його геометричний та енергетичний зміст. Повний напір у живому перерізі струмінця та вимірювання його складових, повнийтиск у перерізі, напірні лінії. Врахування втрат напору між живими перерізами струмінцяв'язкої рідини. Рівняння Бернуллі для потоку реальної рідини.

Потужність потоку в живому перерізі.

Методика використання рівняння Бернуллі для розв'язаннязадач.

Основні поняття, що повинні знати студенти:

Рівняння Д. Бернуллі являється основним рівнянням гідродинаміки, з його допомогою виводяться розрахункові формули для різних випадків руху рідини, та вирішуються багато практичних задач.

Умови застосування рівняння Бернуллі у розрахунках:

– рух рідини в системі має бути сталим;

рух рідини в районі перерізу має бути паралельно-струменевим або плавно-змінним.

Бернуллі рівняння - у гідродинаміці - співвідношення між тиском, швидкістю та висотою певної точки над площиною відліку в рухомій рідині ідеальній (або газі), стисливість та в'язкість якої є дуже малими, а потік - стаціонарним та ламінарним.

Рівняння Бернуллі - унаочнення збереження енергії закону для ідеальних рідин у стаціонарному потоці. Одним із наслідків застосування рівняння Бернуллі для усталеної горизонтальної течії ідеальної нестисливої рідини є зменшення статичного тиску у вузьких перерізах, де швидкість рідини більша. На цьому явищі засновано дію струменевих насосів, ежекторів, пульверизаторів, витратомірів Вентурі та трубок Піто. Закон Бернуллі також дає змогу частково (якісно) пояснити дію піднімальної сили крила в аеродинаміці.

У реальних рідинах механічна енергія не зберігається вздовж потоку, а витрачається на подолання сили тертя та розсіюється у вигляді тепла. Ураховуючи в рівнянні Бернуллі роботу сил тертя (гідравлічні втрати) та механічну роботу (компресора або турбіни), ним користуються в гідродинаміці для розрахунку течії рідин та газів у трубопроводах.

Питання для самоконтролю, що повинні знати студенти:

1. Наведіть геометричну схему рівняння Бернуллі для елементарного струменя потоку та назвіть його основні складові.
2. Наведіть геометричну схему рівняння Бернуллі потоку реальної рідини та назвіть його основні складові.
3. Дайте визначення п'єзометричного та гідравлічного ухилів. Наведітьформули для їх визначення.
4. Наведіть приклади практичного застосування рівняння Бернуллі. За

якою послідовністю вирішуються задачі із застосування цього рівняння?

Рекомендована література:

1 Гідравліка, гідро- та пневмоприводи. Частина 1. Основні закони, рівняння і визначення : навчальний посібник / Я.В. Іванчук, Р.Д. Іскович-Лотоцький. – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 183 с.

2 Гідрогазодинамічні процеси при спорудженні та експлуатації свердловин. Монографія. А.В. Павличенко, Є.А. Коровяка, А.О. Ігнатов, О.М. Давиденко. - Дніпро: НТУ "ДП", 2021. – 201 с

Гідравлічні опори та визначення втрат напору на них. Режими руху рідини

Поняття про гідравлічні опори та загальний метод розрахунку втрат напору на них. Принцип складання втрат напору.

Досліди Рейнольдса, режими руху рідини, число Рейнольдса.

Ламінарний режим руху рідини та його закономірності. Закон гідравлічного опору при ламінарному режимі.

Турбулентний режим руху рідини та його закономірності – пульсація швидкостей та тисків, структура потоку, поняття про гідравлічно гладкі та шорсткі труби, закони гідравлічного опору при турбулентному режимі.

Особливості підрахунку втрат напору на місцевих опорах, поняття про еквівалентну довжину місцевого опору.

Основні поняття, що повинні знати студенти:

Втрати енергії (напору), які входять у рівняння Д. Бернуллі, являються наслідком того, що на рух рідин впливають гідравлічні опори, які залежать від:

– режиму руху рідини;
– форми живого перерізу та її зміни;
– числа Рейнольдса;
– характеру поверхні стінок русла.

Гідравлічні опори поділяються на наступні види:

– опори за довжиною, які проявляються на всій довжині ділянки потоку, яка розглядається ;
– місцеві опори характеризуються різкою зміною конфігурації живого перерізу потоку.

У відповідності з цим і втрати енергії (напору) діляться на *втрати за довжиною та місцеві втрати.*

Теоретичне та експериментальне вивчення опорів та втрат енергії (напору) за довжиною проводиться в умовах рівномірного руху. Сили тертя за довжиною, віднесені до одиниці площі, називаються дотичними напруженнями.

***Гідравлічний коефіцієнт тертя* λ залежить від дотичного напруження. Дотичні напруження, в свою чергу, залежать від в'язкості рідини, яка входить у формулу для визначення числа Рейнольдса, і від турбулентних пульсацій швидкості, на які впливає відносна шорсткість стінок труби.**

Особливістю ламінарного режиму руху являється те, що *втрати напору за довжиною прямо пропорційні в'язкості рідини і середній швидкості у першому*

ступені та не залежать від шорсткості, а, отже, матеріалу стінок труби.

Під час турбулентного режиму руху рідини потік розподіляється на дві області, які різко відрізняються за структурою:

– безпосередньо біля стінки труби утворюється дуже тонка область чисто в'язкого руху – так званий ***в'язкий підшарок***;

інша частина потоку представляє собою область, яка мало або майже не залежить від в'язкості, область повного турбулентного руху, вона називається *турбулентним ядром потоку.*

Місцеві опори в трубопроводах викликаються різними факторами:

– різкою зміною конфігурації живого перерізу потоку;

– різкою зміною течії зі зміною швидкості;

– поперечна циркуляція;

- поєднання та розділення потоків.

Питання для самоконтролю, що повинні знати студенти:

1. Охарактеризуйте причини виникненні гідравлічних опорів під час руху рідини. Дайте визначення та основні формули для визначення втрат напору за довжиною.
2. Наведіть основні формули для визначення гідравлічного коефіцієнту тертя. Дайте пояснення до них.
3. Які області гідравлічних опорів існують під час руху рідини у турбулентному русі? Наведіть основні формули для визначення гідравлічного коефіцієнту тертя залежно від цього.
4. Від чого залежать місцеві гідравлічні опори та за якою формулою визначаються місцеві втрати напору?
5. Наведіть основні види місцевих опорів та величину відповідного коефіцієнту місцевого опору.
6. Як впливає в'язкість рідини за малих чисел Рейнольдса на визначення коефіцієнту місцевого опору?

Рекомендована література:

1 Шевченко Т.О. Гідравліка: конспект лекцій для студентів 1-2 курсів денної та заочної форм навчання освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 263 – Цивільна безпека, освітніх рівнів «бакалавр» та «спеціаліст» спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія. / Т.О. Шевченко; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2018. – 109 с.

2 Hossain, M.E., & Al-Majed, A.A. (2015). Fundamentals of sustainable drilling engineering. Scrivener publishing.

Гідравлічний розрахунок свердловинного циркуляційного контуру трубопроводів

Поняття про інженерний розрахунок свердловинного циркуляційного контуру

Поняття про напірні гідравлічні системи. Види трубопроводів.

Простий трубопровід незмінного перерізу, його гідравлічний опір та характеристика. Сифон.

Розрахунок послідовно та паралельно з'єднаних трубопроводів.

Трубопровід із шляховою витратою рідини.
Гідравлічний удар в трубопроводах.

Основні поняття, що повинні знати студенти:

- ***За призначенням*** трубопроводи класифікують на два види:

розгалужені мережі труб, які призначені для розподілу рідини до споживача;

магістральні трубопроводи – передають рідину на великі відстані.

- ***За довжиною:***

***довгі* – трубопроводи, в яких місцеві втрати напору у порівнянні з втратами напору за довжиною являються незначними (місцеві втрати напору приймаються рівними 5–10% від втрат за довжиною);**

***короткі* – трубопроводи, в яких місцеві втрати напору сумірні з втратами напору за довжиною.**

- ***За гідравлічною схемою роботи:***

***прості* – трубопроводи, які складаються з однієї лінії послідовно поєднаних труб, що проводять постійну витрату;**

***складні* – трубопроводи, системи, які складаються з магістралі з декількома розгалуженнями, з паралельними гілками та кільцеві мережі.**

- ***За матеріалом труб:***

металеві (сталеві та чавунні);

***неметалеві* (бетонні, залізобетонні, азбестоцементні, керамічні, пластмасові).**

- ***За характером роздачі рідини:***

***з транзитною витратою* – рідина за довжиною трубопроводу не роздається і витрата зберігається уздовж всього трубопроводу;**

***зі шляховою витратою* – від початкової до кінцевої точки проводиться роздача рідини, тому витрат уздовж трубопроводу змінна.**

Складні трубопроводи діляться на:

розімкнені (тупикові) – рідина надходить у розрахункову точку тільки з одного напряму;

***кільцеві* – рідина надходить в точку з двох або більше напрямів.**

Гідравлічний розрахунок трубопроводів в основному зводиться довирішення задач 3-х типів:

- задача **визначення необхідного напору** за заданих геометричних розмірах трубопроводу та заданій витраті;
- задача **визначення витрати** за заданих напорі та геометричних

розмірах трубопроводу;

за заданих значеннях витрати, напору та трасуванні трубопроводів необхідно визначити діаметр труб.

Питання для самоконтролю, що повинні знати студенти:

1. Дайте визначення та назвіть основне призначення магістральних і розгалужених мережі труб.
2. Наведіть класифікацію трубопроводів залежно від матеріалу труб і

відхарактеру роздачі рідини.
3. Назвіть типи задач для гідравлічного розрахунку трубопроводів.
4. Наведіть основні розрахункові формули під час руху рідини
5. У чому полягає розрахунок простого трубопроводу? Наведіть типизадач з його розрахунку.
6. Дайте визначення питомого опору, опору ділянки трубопроводу.
7. У чому полягає розрахунок самопливного, сифонного трубопроводівта всмоктуючого трубопроводу насосу?
8. Яке поєднання трубопроводів називається послідовним?
9. Яке поєднання трубопроводів називається паралельним?
10. Дайте визначення вузлової, шляхової, транзитної та розрахункової витрат.

Рекомендована література:

1 Гідравліка, гідро- та пневмоприводи. Частина 1. Основні закони, рівняння і визначення : навчальний посібник / Я.В. Іванчук, Р.Д. Іскович-Лотоцький. – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 183 с.
2 Гідравліка, гідро- та пневмоприводи: конспект лекцій / укладач Е.В. Колісніченко, А.С. Мандрика, В.О Панченко. – Суми : Сумський державний університет, 2021. – 176 с.

Витікання рідини через отвори та насадки

Витікання рідини через малі отвори в тонкій стінці при сталому напорі.
Витікання рідини через насадки.
Витікання рідини через малі отвори при змінному напорі. Опорожнення резервуара.
Витікання рідини через великий боковий отвір.

Основні поняття, що повинні знати студенти:

***Гідравлічний удар* – явище зміни (підвищення або пониження) тиску в трубопроводах під час різкої зміни швидкості руху рідини за малий проміжок часу.**

Гідравлічний удар характеризується виникненням хвилі підвищеного або зниженого тиску, яка розподіляється від місця зміни швидкості і викликає в кожному перерізі коливання тиску і деформації стінок водопроводу.

У разі різкого зменшення швидкості на кожен 1 м/с втраченої швидкості тиск зростає приблизно на 10–12 атм. Внаслідок цього можуть виникнути ускладнення в нормальній роботі трубопроводу аж до розриву стінок труб і аварії на насосній станції. Під час гідравлічного удару можливо також і різке падіння тиску до тиску насиченої пари рідини за даної температури. Як наслідок зниженого тиску під час гідравлічного удару можливий розрив рідини. Проте в деяких випадках гідравлічний удар має позитивне значення.

У зв'язку зі швидким закриттям засувок на водопровідній мережі і різким зменшенням швидкості до 0 відбувається перехід кінетичної енергії потоку, який рухається по трубопроводу, в потенційну енергію, яка витрачається на стиснення води. Чим більша довжина трубопроводу, тим більше в ній маса рідини і величина кінетичної енергії, і тим більше буде підвищення

тиску. До виникнення гідравлічного удару можуть наводити різні причини:

1) швидке закриття або відкриття запірних і регулюючих пристроїв;
2) раптова зупинка насосу;
3) випуск повітря через гідранти на зрошувальній мережі під час заповнення трубопроводів водою;
4) пуск насосу на відкриту засувку на напірній лінії.

Характер процесу гідравлічного удару залежить від його причин. У разі різкого закриття засувки в кінці трубопроводу гідравлічний удар почнеться з підвищеного тиску, який від засувки розповсюджуватиметься вгору по трубопроводу, а потім зміниться зниженим тиском. Якщо закрита засувка в кінці трубопроводу різко відкриється і гідравлічний удар почнеться зі зниженого тиску, який потім зміниться підвищеним. Гідравлічний удар, що починається з хвилі підвищеного тиску, називається *позитивним*, а той, що починається із зниженого тиску, – *негативним*.

Питання для самоконтролю, що повинні знати студенти:

1. Що таке гідравлічний удар?
2. Назвіть причини виникнення гідравлічного удару.
3. Дайте визначення позитивного і негативного гідравлічного удару.
4. У чому полягає теорія гідравлічного удару?
5. Що таке фаза ударної хвилі?
6. Що таке прямий і непрямий гідравлічний удар?
7. Як визначити максимальне підвищення тиску при прямому
8. Назвіть заходи з локалізації явища гідравлічного удару

Рекомендована література:

1 Шевченко Т.О. Гідравліка: конспект лекцій для студентів 1-2 курсів денної та заочної форм навчання освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 263 – Цивільна безпека, освітніх рівнів «бакалавр» та «спеціаліст» спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія. / Т.О. Шевченко; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2018. – 109 с.

2 Hossain, M.E., & Al-Majed, A.A. (2015). Fundamentals of sustainable drilling engineering. Scrivener publishing.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1 Гідравліка, гідро- та пневмоприводи. Частина 1. Основні закони, рівняння і визначення : навчальний посібник / Я.В. Іванчук, Р.Д. Іскович-Лотоцький. – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 183 с.

2 Гідравліка, гідро- та пневмоприводи: конспект лекцій / укладач Е.В. Колісніченко, А.С. Мандрика, В.О Панченко. – Суми : Сумський державний університет, 2021. – 176 с.

3 Гідрогазодинамічні процеси при спорудженні та експлуатації свердловин. Монографія. А.В. Павличенко, Є.А. Коровяка, А.О. Ігнатов, О.М. Давиденко. - Дніпро: НТУ "ДП", 2021. – 201 с.

4 Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Гідрогазодинаміка» для студентів спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології» / Упоряд.: А.О. Ігнатов. – Д.: НТУ «Дніпровська політехніка», 2024. – 29 с.

5 Шевченко Т.О. Гідравліка: конспект лекцій для студентів 1-2 курсів денної та заочної форм навчання освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 263 – Цивільна безпека, освітніх рівнів «бакалавр» та «спеціаліст» спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія. / Т.О. Шевченко; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2018. – 109 с.

6 Hossain, M.E., & Al-Majed, A.A. (2015). Fundamentals of sustainable drilling engineering. Scrivener publishing.

Навчальне видання

Розробник: Ігнатов Андрій Олександрович

Методичні вказівки до самостійної роботи
за дисципліною «Гідрогазодинаміка»
для студентів спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології»

В редакції автора

Підготовлено до виходу в світ
у Національному технічному університеті
«Дніпровська політехніка».
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19