

**Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»**

**Методичні вказівки**

**до самостійної роботи з дисципліни**

# **„Гідроаеромеханіка в бурінні”**

**ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ**

**185 "Нафтогазова інженерія та технології"**

**Дніпро**

**2020**

**Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»**

**Методичні вказівки**

**до самостійної роботи з дисципліни**

# **„Гідроаеромеханіка в бурінні”**

**ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ**

**185 "Нафтогазова інженерія та технології"**

Погоджено рішенням методичної комісії спеціальності  
185 «Нафтогазова інженерія та технології» (протокол № \_\_\_\_ від 21.01.2020).

**Дніпро  
2020**

Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни "Гідроаеромеханіка в бурінні" для студентів спеціальності 185 "Нафтогазова інженерія та технології" / Упорядн. А.К. Судаков. - Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 2020. – 17с.

Упорядник:

*А.К. Судаков, докт. техн. наук, проф.*

Відповідальний за випуск канд. техн. наук, доц. кафедри техніки розвідки родовищ корисних копалин В.Л.Хоменко

**Друкується в редакційній обробці упорядників.**

## **ВСТУП**

Методичні вказівки складено згідно з робочою програмою дисципліни «Гідроаеромеханіка в бурінні» для спеціальності 185 Нафтогазова інженерія та технології, призначено для надання допомоги при вивченні дисципліни студентами очної і заочної форм навчання.

У курсі «Гідроаеромеханіка в бурінні» використано матеріали багаторічної плідної праці Мислюка М.А. - професора кафедри буріння нафтових і газових свердловин ИФНТУНГ [8], викладено технологічні процеси спорудження нафтових і газових свердловин з використанням основних положень механіки рідин та газів. Оптимізація різноманітних процесів спорудження свердловин, вибір і прийняття раціональних технологічних рішень при бурінні та кріпленні свердловин ґрунтуються на використанні законів руху бурових технологічних рідин в елементах циркуляційної системи свердловини та пластах. Це, по суті, і визначає важливість дисципліни у фаховій підготовці інженерів-буровиків.

Мета вивчення курсу «Гідроаеромеханіка в бурінні» полягає в одержанні студентами теоретичних і практичних знань, необхідних для проектування гідравлічної програми технологічних процесів спорудження свердловини та її практичної реалізації стосовно до конкретних гелого-технічних умов буріння свердловини.

Курс «Гідроаеромеханіка в бурінні» у відповідності з навчальними програмами спеціальності 185 для студентів стаціонарної форми навчання є дисципліною вільного вибору студентів і читається у VI семестрі (лекції - 34 год., практичні заняття - 17 год., самостійні заняття - 99 год), а для заочної форми навчання дисципліна читається у V семестрі (лекції - 6 год., практичні заняття - 6 год., самостійні заняття - 96 год.).

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ З ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ**

Гідроаеромеханіка в бурінні - це дисципліна, яка вивчає технологічні процеси буріння з позицій механіки рідин та газів та відноситься до фахових дисциплін, що формують Інженерний світогляд кваліфікованого спеціаліста - буровика. Теоретичною базою для її вивчення є фундаментальні та спеціальні дисципліни - фізика, вища математика, теоретична механіка, гідравліка, обчислювальна техніка і програмування та інші.

Формування гідроаеромеханіки в бурінні як наукового напрямку зумовлено, насамперед, різноманітністю та особливостями прикладних задач механіки рідин та газів стосовно до технологічних процесів спорудження нафтових і газових свердловин.

Головне завдання дисципліни полягає у використанні її методів та результатів з метою підвищення ефективності технологічних процесів буріння глибоких свердловин. При цьому необхідно акцентувати увагу на основних завданнях гідроаеромеханіки стосовно до конкретних технологічних процесів (промивання свердловин, цементування обсадних колон, боротьба з ускладненням та аваріями в бурінні, випробування продуктивних горизонтів тощо), а також на особливостях системи

свердловина - пласт.

Свердловина як технологічний об'єкт характеризується у загальному випадку складним просторовим розташуванням. Стінки свердловини шорсткі, з різною проникливістю, з глибиною змінюються температура, тиск тощо. Пласти у відкритому стовбурі свердловини характеризуються різними властивостями, заповнені різними видами флюїдів зі змінними глибиною пластовими тисками і взаємодіють із свердловиною.

Особливість системи свердловина - пласт та специфіка технологічних операцій при спорудженні свердловин визначають по суті зміст даної дисципліни.

При самостійному вивченні дисципліни доцільно насамперед ознайомитись з робочою програмою і методичними вказівками, а згодом приступити до опрацювання відповідних тем за рекомендованою літературою [1-7] та інтернет-ресурсами. Після цього слід відповісти на контрольні питання і тестові завдання, що містяться у методичних вказівках. Засвоєння тем необхідно закріпити детальним розглядом відповідних практичних занять, а також задач вибору технологічних рішень під час буріння свердловин [1-7].

### **Запитання для самоконтролю**

1. Що вивчає дисципліна?
2. Які основні завдання дисципліни?
3. Охарактеризуйте основні технологічні процеси спорудження нафтових і газових свердловин та їх специфічні особливості з позицій гідроаеромеханіки.

## **1 Основи гідромеханіки бурових розчинів**

### **Фізичні властивості бурових технологічних рідин**

Бурові технологічні рідини відносяться до дисперсних (роздроблених) систем і складаються із суцільної фази (дисперсійного середовища) та роздроблених частинок (дисперсної фази). Такі системи є гетерогенною і характеризуються специфічними властивостями, які детально вивчаються у спеціальних курсах.

У даному розділі звертається основна увага на фізичні властивості дисперсних систем, які визначають їх гідравлічні характеристики, а саме: густину, швидкість поширення пружних коливань, статичне напруження зсуву, теплоємність та інше. При цьому необхідно особливу увагу звернути на статичне напруження зсуву та тиксотропію бурових розчинів, методи їх визначення і оцінки, а також вивчити вплив умов свердловини (температура, тиск та інше) на фізичні властивості бурових технологічних рідин.

### **Запитання для самоконтролю.**

1. Які системи називаються дисперсними? Що таке дисперсна фаза і дисперсійне середовище?
2. Що розуміють під фізичними властивостями? Наведіть основні фізичні властивості дисперсних систем та методи їх визначення.
3. Як впливають умови свердловини на основні фізичні властивості бурових технологічних рідин?
4. Наведіть формули для оцінки швидкості розповсюдження пружних коливань в необмеженому середовищі, трубопроводі і свердловині.
5. Що таке статичне напруження зсуву? Виведіть формули для визначення цієї величини з допомогою різних методів.
6. Що таке тиксотропія? Наведіть методи оцінки тиксотропії.

### Основні рівняння гідромеханіки

Моделювання течії бурових промивальних і тампонажних розчинів ґрунтується на використанні основних рівнянь механіки суцільних середовищ, тобто таких середовищ, які при деформаціях можуть як завгодно змінювати свою форму, не порушуючи при тому спільності

При вивченні даної теми спочатку слід засвоїти основні поняття механіки суцільних середовищ: поверхневі та об'ємні сили, напруження, деформації, швидкість деформації тощо. До основних рівнянь гідроаеромеханіки відносять рівняння руху суцільного середовища, закони збереження маси і енергії, реологічні рівняння і рівняння стану. Виведення рівнянь руху по суті зводиться до складання з урахуванням принципу Даламбера рівнянь рівноваги суцільного середовища (головний вектор і головний момент всіх сил дорівнюють нулю). Необхідно також вміти представляти в математичному вигляді закони збереження маси (повна зміна маси в замкнутому об'ємі дорівнює шуту) і енергії (зміна енергії в замкнутому об'ємі дорівнює сумі робіт всіх зовнішніх сил і притоку або відтоку теплоти).

Особливу увагу звернути на реологію бурових промивальних і тампонажних розчинів. Реологічні рівняння описують залежність між напруженнями зсуву і градієнтами швидкості зсуву. Розрізняють реологічно стаціонарні і нестаціонарні системи. Необхідно засвоїти закони внутрішнього тертя Ньютона, Бінгама, Оствальда, Гершеля - Балклі, Шульмана - Кесеоиа, Максвелла і Фойгта. Для адекватного опису технологічних рідин можуть використовуватись бів'язкі реологічні моделі

$$\dot{\gamma} = \begin{cases} \dot{\gamma}_1(\tau), & \tau \leq \tau^*; \\ \dot{\gamma}_2(\tau), & \tau > \tau^*, \end{cases}$$

де  $y_1(\tau)$ , і  $y_2(\tau)$  - реологічні моделі, відповідно, для низьких і високих градієнтів швидкостей зсуву;  $\tau^*$ — граничне напруження зсуву.

Слід звернути увагу на фізичну інтерпретацію параметрів реологічних моделей, а також явищ релаксацій напружень та повзучості.

Рівняння стану відображають залежність фізичних властивостей рідин

(густина, реологічні властивості та ін.) від параметрів стану (тиск, температура). Необхідно також ознайомитись з елементами постановки задач гідроаеромеханіки в бурінні, що включають формулювання задачі, вибір адекватної розрахункової моделі і відповідних рівнянь, обґрунтування початкових і граничних умов.

### Запитання для самоконтролю

1. Що розуміють під суцільним середовищем?
2. Що таке об'ємні і поверхневі сили?
3. Виведіть рівняння руху суцільного середовища в інтегральній формі і представте його в диференціальній формі.
4. Закон збереження маси.
5. Закон збереження енергії при русі суцільного середовища.
6. Що таке реологія, реологічно стаціонарна і нестаціонарна модель?
7. Закони внутрішнього тертя для реологічно стаціонарних систем та їх фізична інтерпретація.
8. Бів'язкі реологічні моделі, їх інтерпретація.
9. Рівняння реології для в'язкопружних систем.
10. Явище релаксації напружень і повзучості.
11. Що відображає рівняння стану? Наведіть приклади рівнянь стану.

### Основи реометри

Реометрія - це сукупність приладів і методів для визначення реологічних властивостей матеріалів залежно від термічних, баричних та інших умов технологічних процесів. Основне завдання реометрії - визначення за результатами вимірювань реологічної моделі та властивостей досліджуваних матеріалів, а також впливу зовнішніх умов на ці властивості,

У даному розділі спочатку вивчають способи визначення реологічних властивостей рідин та принципові схеми реометрів. Особливу увагу приділяють теорії капілярної та ротаційної віскозиметрії, методикам виконання вимірювань та обробки результатів. Обробка даних капілярної віскозиметрії ґрунтується на використанні рівняння

$$Q = 8\pi \left( \frac{\ell}{\Delta p} \right)^3 \int_{\tau_0}^{\tau_c} \tau^2 \dot{\gamma}(\tau) d\tau, \quad (2)$$

а ротаційної –

$$\omega = \frac{1}{2} \int_{\tau}^{\tau_B} \frac{\dot{\gamma}(\tau)}{\tau} d\tau, \quad (3)$$

де  $Q$ ,  $\Delta p$  - об'ємна витрата рідини та перепад тиску в капілярі діаметром  $d$  і

довжиною  $l$ ;  $\gamma(\tau)$  - реологічна модель рідини, що представлена у вигляді залежності градієнта швидкості зсуву у від напружень  $\tau$  зсуву;  $\tau_0$  – динамічне напруження зсуву;  $\tau_c = \Delta p d / (4l)$  - напруження зсуву на стінці капіляра;  $\omega$  - кутова швидкість обертання зовнішнього циліндра ротаційного віскозиметра;  $\tau_B, \tau_3$  - напруження зсуву на внутрішньому та зовнішньому циліндрах ротаційного віскозиметра;

$$\tau_3 = \begin{cases} \alpha^2 \tau_B, & \text{якщо } \tau_B > \tau_0 / \alpha^2; \\ \tau_0, & \text{якщо } \tau_B \in [\tau_0, \tau_0 / \alpha^2]; \end{cases}$$

$\alpha = R_B / R_3$ ;  $R_B, R_3$ ; - відповідно радіуси внутрішнього та зовнішнього циліндрів.

Суть обробки даних віскозиметри полягає у визначенні за результатами вимірювань  $\{Q_i\}$  і  $\{\Delta p_i\}$ , або  $\{\omega_i\}$  і  $\{\tau_{Bi}\}$ , де  $i = 1, N$  ( $N$  - кількість вимірювань при різних  $Q$  або  $\omega$ ) реологічної моделі  $\gamma(\tau)$  рідини та її параметрів. Такі задачі відносяться до обернених задач і їх розв'язок знаходиться з допомогою критеріальних методів. Необхідно засвоїти формалізацію задач обробки даних віскозиметрії та алгоритм їх розв'язку. При вивченні даного розділу звертають увагу на вплив різних ефектів (кінцевих, пристінних та ін.) на оцінку реологічних властивостей рідин з допомогою віскозиметрів. В цьому плані наочним є порівняльний аналіз основних припущень, які прийняті при виведенні рівнянь (2) і (3) з конструктивними особливостями приладів.

У закінченні розділу необхідно ознайомитись з принципами оцінок реологічних властивостей в'язкопружних систем та приладами для їх вимірювання (реогоніометри).

### **Запитання для самоконтролю**

1. Що таке реометрія? Які її завдання?
2. Наведіть порівняльну характеристику відомих способів оцінки реологічних властивостей.
3. Конструктивна схема капілярного віскозиметра і особливості методики проведення вимірювань.
4. Конструктивна схема ротаційного віскозиметра і особливості методики проведення вимірювань.
5. Виведіть основне рівняння капілярної віскозиметрії.
6. Виведіть основне рівняння ротаційної віскозиметрії.
7. Опишіть суть методики обробки результатів капілярної або ротаційної віскозиметрії.
8. Як оцінити пристінні і кінцеві ефекти на капілярному або ротаційному віскозиметрі?
9. В чому полягають особливості визначення реологічних властивостей в'язкопружних систем?
10. Конструктивні особливості реогоніометрів.



### **Особливості статички структурованих рідин**

У даному розділі спочатку розглядають рівняння та основні закони статички (Паскаля, Архімеда) рідин, у тому числі з структурними властивостями.

Особливість статички дисперсних систем полягає у прояві статичного напруження зсуву. У початковий момент після інтенсивного перемішування така система гідравлічно-гомогенна, тобто тиск на дно посудини буде створюватись за рахунок всієї ваги твердої фази і дисперсійного середовища, Потім частинки твердої фази поступово злипаються і утворюють просторовий скелет, норівим простір якого заповнений рідиною. З часом скелет, міцність якого визначається статичним напруженням зсуву, може частково зависати на стінках посудини, що спричинює зміну статичного (морového) тиску суспензії в часі.

Необхідно засвоїти виведення формул рівноваги в'язкошліастичної рідини в U-подібній трубці і для оцінки тиску в свердловині за наявності або відсутності колони труб..

#### **Запитання для самоконтролю**

1. Виведіть диференціальні рівняння статички рідин.
2. Сформулюйте закони Паскаля та Архімеда.
3. В чому полягає особливість статички в'язкошліастичних рідин?
4. Виведіть формулу рівноваги в'язкошліастичної рідини в U-подібній трубці.
5. Виведіть формули для оцінки тиску в свердловині, заповненій в'язкошліастичною рідиною при наявності або відсутності колони труб.
6. Поясніть причини зміни тиску рідини в свердловині.

#### **Рівновага і рух твердих частинок у бурових розчинах**

Наявність статичного напруження зсуву дає змогу буровим розчинам утримувати в стані спокою тверді частинки, а також пухирці газу. В даному розділі необхідно засвоїти виведення формул для граничної рівноваги твердих частинок і пухирців газу в нерухомому буровому розчині, а також для оцінки швидкості осідання твердих частинок. Слід звернути увагу на методику розрахунку коефіцієнту опору при обтіканні тіл.

У цьому розділі розглядаються принципи вибору продуктивності бурових насосів для буріння свердловини.

#### **Запитанням для самоконтролю**

1. Виведіть формулу для рівноваги частинки кулеподібної форми в буровому розчині.
2. Виведіть формулу Рітінгера та проаналізуйте її.
3. Наведіть методику розрахунку коефіцієнта опору при обтіканні тіл.
4. Наведіть формули для оцінки часу виносу шламу та падіння кулі в потоці рідини.
5. Поясніть принципи вибору продуктивності бурових насосів для

буріння свердловини.

### **Усталена течія бурових розчинів в елементах циркуляційної системи свердловини**

Спочатку необхідно засвоїти основні критерії подібності течій рідин (Рейнольдса, Ейлера, Сен-Венана, Гедстрема, Фруда та інші).

Розрахунок ламінарних течій неньютонівських рідин в круглих циліндричних трубах базується на використанні рівняння (2), з допомогою якого для довільних реологічних моделей, що мають вигляд  $y = y(\tau)$  (Ньютона, Бінгама, Оствальда, Гершеля - Балклі та Інші), можна отримати формули чи побудувати алгоритми для обчислення гідравлічних втрат  $\Delta p$ . В Інженерній практиці для розрахунку гідравлічних втрат використовують формулу Дарсі - Вейсбаха

$$\Delta p = \lambda \frac{\ell}{d} \rho \frac{V^2}{2}, \quad (4)$$

де  $\lambda$  - коефіцієнт гідравлічного опору;  $\rho$  - густина рідини;  $V$  - середньооб'ємна швидкість течії рідини в трубі.

Слід відзначити, що відомі точні чи наближені вирази для коефіцієнту гідравлічного опору визначаються співставленням (6.1) і відповідним розв'язком рівняння (3.1).

При вивченні ламінарних течій в круглих та кільцевих трубах необхідно звернути увагу на вплив реологічних властивостей неньютонівських рідин на гідравлічні втрати.

Особливість ламінарної течії в'язкопдастичної рідини в плоских трубах зі змінним перерізом полягає у виникненні Інерційних компонентів тиску, які залежать від квадрату об'ємної витрати рідини і можуть в залежності від перерізу труби приводити до зменшення або збільшення гідравлічних втрат.

Розрахунок турбулентної течії виконується за допомогою формули Дарсі-Вейсбаха з використанням відповідних емпіричних залежностей для коефіцієнта гідравлічного опору. Необхідно звернути увагу на способи оцінки критичної швидкості течії, що відповідає виникненню турбулентної течії.

До місцевих гідравлічних опорів циркуляційної системи свердловини відносять обв'язку бурових насосів, бурильні замки, вибійні двигуни, долото тощо. Тому слід засвоїти методи розрахунку гідравлічних втрат в цих елементах.

Інженерні формули для оцінки гідравлічних втрат в елементах циркуляційної системи отримані з рядом припущень. В цьому плані необхідно вміти оцінити вплив реальних умов в свердловині на гідравлічні втрати, звертаючи особливу увагу на температуру і тиск, обертання колони труб, розташування колони труб в свердловині та інше.

У розділі також розглядаються питання проектування гідравлічної

програми промивання свердловин та використання ЕОМ для її реалізації.

### **Запитання для самоконтролю**

1. Наведіть основні критерії подібності течій рідин.
2. Виведіть формули для визначення гідравлічних втрат при ламінарній течії рідин Ньютонівського типу, Шведова - Бінгама, Оствальда та Гершеля - Баяклі в круглих циліндричних трубах.
3. Поясніть вплив реологічних властивостей на гідравлічні втрати.
4. Поясніть особливості ламінарної течії в'язкопластичної рідини в плоских трубах зі змінним перерізом.
5. Наведіть формули для розрахунку гідравлічних втрат у кільцевому просторі.
6. Як оцінити критичну швидкість течії рідини?
7. Опишіть принципи і наведіть формули для розрахунку гідравлічних втрат при турбулентній течії.
8. Наведіть формули для розрахунку гідравлічних втрат в місцевих опорах.
9. Поясніть вплив реальних умов свердловини на гідравлічні втрати.
10. Як впливає продуктивність бурових насосів на вибійний тиск при механічному бурінні?
11. Основні функції гідравлічної програми промивання свердловини.
12. Побудуйте алгоритм розрахунку гідравлічних втрат в свердловині.

## **2. Гідромеханіка газів та аерованих бурових розчинів**

### **Елементи аеромеханіки в бурінні**

У даному розділі розглядаються елементи аеромеханіки стосовно буріння з продувкою вибою газоподібними агентами. Характерна відмінність інженерних розрахунків полягає у врахуванні умов свердловини на властивості газоподібного агента. Необхідно засвоїти принципи розв'язку задач статичного газу з урахуванням зміни температури по стовбуру свердловини, основи розрахунку аеродинамічних тисків яри русі газу в елементах циркуляційної системи свердловини (бурильна колона, затрубний простір, місцеві опори). При цьому важливо звернути увагу на прийняті припущення та наближення в постановці та розв'язанні задач. Це дасть змогу не тільки правильно використовувати ці розв'язки в інженерних розрахунках, але і при необхідності їх удосконалити, змінивши перелік обмежень.

Слід також вивчити основні положення методики розрахунку потрібної продуктивності і очікуваного тиску компресорів при бурінні з продувкою.

### **Запитання для самоконтролю**

1. Які особливості циркуляційної системи при бурінні з продувкою?
2. Виведіть формулу для оцінки статичного тиску газу в свердловині з урахуванням впливу температури,
3. Виведіть формули для розрахунку аеродинамічних тисків в трубах

при русі газу.

4. Виведіть формули для розрахунку аеродинамічних тисків в місцевих опорах при русі газу.

5. Які основні фактори впливають на коефіцієнт аеродинамічного опору?

6. В чому полягає суть методики розрахунку потрібної продуктивності та очікуваного тиску компресорів при бурінні з продувкою?

### **Елементи гідроаеромеханіки газорідинних систем**

Спочатку необхідно ознайомитись з особливостями технології буріння з використанням аерованих промивальних рідин, засвоїти поняття ступені аерації, структури газорідинного потоку. Особливу увагу слід приділити впливу реальних факторів на постановку задачі визначення тисків при течії газорідинної суміші в елементах циркуляційної системи свердловини. Наближене диференціальне рівняння течії газорідинної суміші має вигляд

$$\frac{dp}{dz} = [\varphi\rho_g + (1-\varphi)\rho]g \pm \frac{\lambda_c}{2d} [\varphi\rho_g v_g^2 + (1-\varphi)\rho v^2], \quad (8.1)$$

де  $\varphi$  - вміст газу в одиниці об'єму суміші;

$\rho_g, \rho$  - густина газу та рідини;

$v_g, v$  - середньооб'ємна швидкість руху газу і рідини;

$\lambda_c$  - коефіцієнт гідравлічного опору суміші, В (8.1) знак «+» приймається для висхідного потоку, а «-» - для низхідного. Рівняння (8.1) доповнюється рівняннями збереження мас та стану для кожної з фаз і рівнянням для коефіцієнту гідравлічного опору  $\lambda_c = \lambda_c(\varphi, \rho_g, \rho, v_g, v \dots)$ ,

Потрібно вміти про Інтегрувати рівняння (8.1) для розрахунку статичного і динамічного тисків газорідинної суміші, а також засвоїти принципи розрахунку тисків в трубах і місцевих гідравлічних опорах. Важливим є також вміння для одержаних рівнянь побудувати алгоритми розрахунку.

У розділі вивчаються також основи методики розрахунку продуктивності та тиску при бурінні з аерованими буровими розчинами.

### **Запитаним дім самоконтролю**

1. Наведіть технологічні схеми буріння з використанням аерованих бурових розчинів.

2. Охарактеризуйте структуру потоку газорідинної суміші.

3. Запишіть і поясніть диференціальне рівняння течії газорідинної суміші.

4. Виведіть та проаналізуйте рівняння для оцінки статичного тиску газорідинної суміші. Наведіть алгоритм його розв'язку.

5. Виведіть рівняння для розрахунків тиску при русі газорідинної суміші в елементах циркуляційної системи. Побудуйте алгоритми їх розв'язку.

6. В чому полягає суть методики розрахунку продуктивності і тиску

при бурінні з аерованими буровими розчинами?

### **3 Гідромеханіка неусталених процесів. Підземна гідравліка**

#### **Неусталена течія рідин в елементах циркуляційної системи свердловини**

Передусім доцільно засвоїти види неусталених процесів в циркуляційній системі свердловин, згадати основні рівняння гідроаеромеханіки (розділ 2), зуміти їх представити в диференціальній формі у циліндричній системі координат для одновимірної течії.

Для вивчення основ методики розрахунку тисків у свердловині при спуско-підймальних операціях необхідно спочатку ознайомитись з їх кінематикою, тобто характером зміни швидкості, переміщення та прискорення у часі при спуску або підйомі колони труб. Для з'ясування гідродинамічних процесів при переміщенні колони труб у свердловині важливим є питання характеру руху рідини в колоні труб і затрубному просторі. При цьому слід звернути увагу на можливі варіанти постановки задачі визначення тисків при спуско-підймальних операціях (спуск або підйом колони труб з відкритим чи закритим нижнім кінцем, наявність чи відсутність промивання свердловини, наявність у відкритому стовбурі свердловини проникливих пластів тощо).

Основою спрощених методик розрахунку гідродинамічних тисків при спуско-підймальних операціях є припущення про суперпозицію інерційних ( $\Delta p_a$ ) та швидкісних ( $\Delta p_v$ ) складових гідродинамічного тиску

$$\Delta p = \Delta p_a + \Delta p_v \quad (9.1)$$

Мета Інженерних розрахунків полягає у визначенні максимальних гідродинамічних  $\Delta p$  тисків при виконанні операції.

У розділі розглядаються елементи теорії гідравлічного удару, включаючи принципи розрахунку тисків.

#### **Запитання для самоконтролю**

1. Наведіть приклади неусталених течій рідин стосовно буріння.
2. Виведіть та поясніть диференціальне рівняння одновимірної течії рідини в трубах.
3. Поясніть особливості течії в'язкої і в'язкопластичної рідин в трубах та кільцевому просторі при переміщенні колони труб.
4. Як оцінити інерційну складову тиску при спуско-підймальних операціях?
5. Поясніть суть методики розрахунку тисків при спуско-підймальних операціях.
6. Що таке гідравлічний удар? Наведіть з буріння приклади прямого, непрямого, повного і неповного гідравлічного удару.
7. Що таке обернений гідравлічний удар? Наведіть приклади з

буріння.

8. Запишіть рівняння М.Є.Жуковського для однорідного трубопроводу і поясніть його.

9. Поясніть суть методики розрахунку тисків при гідравлічному ударі.

### Елементи підземної гідравліки

Вивчення законів підземної гідравліки необхідне інженеру-буровику для вибору раціональних технологічних рішень з метою попередження та ліквідації деяких ускладнень в бурінні, а також для обґрунтованого вибору технології розкриття продуктивних горизонтів, їх випробування тощо.

Наявність у гірських породах з'єднаних між собою і заповнених пластовою рідиною чи газом (флюїдом) пустот визначає їх фільтраційні властивості, тобто здатність пропускати рідину під дією перепаду тиску. Фільтраційні процеси в пористих середовищах описуються законом Дарсі, який одержаний емпіричним шляхом і у векторній формі має вигляд

$$v = -\frac{k}{\eta} \text{grad } p, \quad (10.1)$$

де  $v$  - вектор швидкості фільтрації;

$k$  - проникність порід;

$\eta$  - в'язкість рідини;

$\text{grad } p$  - градієнт тиску.

Слід засвоїти закон Дарсі (10,1), звернувши увагу на різні форми його запису (в декартових та циліндричних системах координат), фізичний зміст коефіцієнту проникності, його зв'язок з пористістю тощо. Потрібно вміти проінтегрувати рівняння (10,1) для простих одновимірних випадків (плоскорадіальна фільтрація нестисливої рідини в однорідному або неоднорідному пласті) і дати аналіз отриманих формул. Необхідно ознайомитись з законами фільтрації стисливої рідини або газу, узагальненнями закону Дарсі (з початковими градієнтами тиску та нелінійною і багатофазовою фільтрацією), вміти їх інтегрувати для одновимірних фільтрацій. При цьому особливу увагу слід звернути на практичне застосування законів фільтрації.

При вивченні даного розділу значна увага приділяється фільтрації в'язкої та в'язкопластичної рідин у тріщинах пластах. Фільтрація нестисливої в'язкопластичної рідини в однорідних недеформованих тріщинах пластах описується наступними рівняннями, які представлені в інтегральній формі

$$\Delta p = \begin{cases} A q_{nl} + B \tau_0, \\ A q_{nl} + B \tau_0 + C q_{nl}^2, \end{cases} \quad (10.2)$$

де  $\Delta p$  - перепад тиску на пласт;  $q_{nl}$  - об'ємна витрата рідини в пласті;  $A, B, C$  - параметри пласта, які залежать від геометричних форм, розмірів і кількості тріщин, а також властивостей рідини. Параметр  $C$  пласта характеризує форму тріщин ( $C = 0$  - тріщини з постійним перерізом;  $C > 0$  - тріщини зі звужуючим у

напрямку фільтрації перерізом;  $C < 0$  - тріщини з розширюючим перерізом). З використанням рівнянь (10.2) слід розглянути особливість фільтрації рідин у деформованих однорідних і неоднорідних пластах. При цьому звернути увагу на вплив геометричних форм і розмірів тріщин та властивостей рідин на індикаторні лінії в координатах  $\Delta p$  і  $\rho_{пл}$ .

У розділі вивчається технологія гідродинамічних досліджень поглинаючих і продуктивних пластів та методи обробки їх результатів, а також розглядається практичне застосування одержаних результатів.

### **Запитання для самоконтролю**

1. Назвіть основні характеристики пласта-колектора. Що розуміють під швидкістю фільтрації і в чому полягає фіктивність поняття "швидкість фільтрації"?

2. Запишіть закон Дарсі у різних формах і поясніть його.

3. Які фактори впливають на проникність порід? Покажіть можливий зв'язок між проникністю і пористістю.

4. Виведіть формулу Дюпюї для однорідного пористого пласта і поясніть її. Що означає поняття "динамічний пластовий тиск"?

5. Запишіть закон Дарсі для газу і виведіть формулу Дюпюї для однорідного пористого пласта.

6. Наведіть і поясніть нелінійні закони фільтрації.

7. Запишіть і поясніть закон Дарсі для багатофазової фільтрації.

8. Наведіть і поясніть закони фільтрації для тріщинах пластів.

9. Що таке індикаторна лінія пласта? Наведіть і поясніть можливі форми індикаторних ліній поглинаючих тріщинних пластів.

10. В чому полягає суть технологій гідродинамічних досліджень пластів на усталених режимах фільтрації?

11. Суть технологій гідродинамічних досліджень пластів на неусталених режимах фільтрації.

12. Наведіть і поясніть методику обробки результатів гідродинамічних досліджень пластів на усталених режимах фільтрації

13. Опишіть методику обробки результатів гідродинамічних досліджень пластів на неусталених режимах фільтрації.

### **Використання методів гідроаеромеханіки в практичних задачах глушіння флюїдопроявів та витиснення рідин**

У даному розділі розглядаються суцільно прикладні задачі в бурінні, а саме використання методів гідроаеромеханіки при глушінні флюїдопроявів та витиснення рідин.

Спочатку необхідно ознайомитись з методами виявлення та діагностики флюїдопроявів при бурінні за даними гирлової Інформації, вивчити в різних варіантах технологію плавного глушіння флюїдопроявів. Суть останньої полягає у вимиванні пластового флюїду, що поступив у свердловину, при постійному вибієнному тиску. Це дає змогу попередити поступлення у свердловину нових порцій флюїду, мінімізувати тиски на продуктивні пласти

та обсадну колону.

При вивченні матеріалу основна увага приділяється методам розрахунку тисків при ліквідації нафтопроявів і газопроявів з допомогою різних способів. Необхідно засвоїти алгоритми розрахунку робочої карти глушіння проявів у конкретних умовах, а також вміти оцінити величину тиску в небезпечних (з точки зору виникнення можливих ускладнень) інтервалах стовбура свердловини.

Витиснення однієї рідини іншою є невід'ємною частиною ряду технологічних процесів в бурінні. При вивченні цього питання слід звернути увагу на фізичні процеси, які мають місце при витисненні рідин (вплив умов, режимів течії і властивостей рідин) на повноту витиснення. Важливим є засвоєння основних способів підвищення якості заміщення рідин.

### **Запитаний для самоконтролю**

1. Наведіть способи діагностики проявів при бурінні свердловин. Як з використанням гирлової інформації оцінити вид флюїду, що поступив у свердловину?

2. Наведіть порівняльну характеристику методів плавного глушіння флюїдопроявів.

3. В чому полягає специфіка глушіння газопроявів?

4. Побудуйте діаграму зміни тиску на гирлі свердловини в затрубному просторі при глушінні проявів і поясніть її.

5. Наведіть алгоритм розрахунку глушіння нафтопроявів чи газопроявів.

6. Як оцінити тиск в довільному перерізі стовбура свердловини при глушінні нафтоводопроявів чи газопроявів?

7. Поясніть вплив умов свердловини, властивостей рідин та режимів їх течії на повноту витиснення.

8. Наведіть способи підвищення якості заміщення рідин.



## ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мислюк М.А. Моделювання явищ і процесів у нафтогазопромисловій справі / М.А. Мислюк, Ю.О. Зарубін. - Івано-Франківськ: Екор, 1999. - 494 с.
2. Мислюк М. А. Буріння свердловин: Довідник: У 5 т. Т.1.: Загальні відомості. Бурові установки. Обладнання та інструмент / М. А. Мислюк, І. Й. Рибчин, Р. С. Яремійчук. - К.: Інтерпрес ЛТД, 2002. - 367 с.
3. Мислюк М. А. Буріння свердловин: Довідник: У 5 т. Т.2.: Промивання свердловин, Відробка доліт / М. А. Мислюк, І. Й. Рибчин, Р. С. Яремійчук. - К.: Інтерпрес ЛТД, 2002. -303 с,
4. Мислюк М. А. Буріння свердловин: Довідник: У 5 т. Т.3.: Вертикальне та скероване буріння / М. А. Мислюк, І. Й. Рибчин, Р. С. Яремійчук. - К.: Інтерпрес ЛТД, 2004. - 294 с.
5. Мислюк М, А. Буріння свердловин: Довідник: У 5 т. Т.4.: Завершення свердловин / М. А. Мислюк, І, И, Рибчин, - К: Інтерпрес ЛТД, 2012. - 608 с.
6. Мислюк М. А. Буріння свердловин: Довідник: У 5 т. Т.5.: Ускладнення. Аварії. Екологія / М. А. Мислюк, І. Й. Рибчин, Р. С. Яремійчук. - К.: Інтерпрес ЛТД, 2004. - 376 с.
7. Мислюк М.А., Богославець В.В. Гідроаеромеханіка в бурінні: Методичні вказівки. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. -31с.
8. Дудля М.А Промивальні рідини в бурінні. Підручник.: -3-є вид. доп. -Д.: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет». 2011. - 542с.
9. Дудля Н.А., Стричек С., Островский И.Р. Предупреждение и ликвидация аварий при бурении: Учебное пособие.- 2-е изд., перераб. и доп.- Д.:ЧП «Лири ЛДТ». 2007 .- 328с.

*Упорядник:*

*Судаків Андрій Костянтинович*

Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни  
**“Гідроаеромеханіка в бурінні”.**

Редакційно-видавничий комплекс

Підписано до друку 03.12.02. Формат 30x42/4.  
Папір Captain. Ризографія. Умовн. друк. арк. 1.0.  
Обліково-видавн. арк. 1.0. Тираж 100 прим.  
Зам. №

Національний гірничий університет  
**49005, м. Дніпро, просп. Д.Яворницького, 19.**