

Івано-Франківський національний технічний університет  
нафти і газу

Інститут інформаційних технологій  
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Гуцул Владислав Олександрович нович

---

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.2.

(індекс)

## МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Тема: Розроблення лабораторної установки для дослідження впливу поверхнево-активних речовин на фізико-механічні параметри сланцевих порід

(назва роботи)

Метрологія та вимірювальна техніка

---

(назва освітньої програми)

175 Інформаційно-вимірювальні технології

---

(шифр і назва спеціальності)

Гуцул В.О.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Витвицька Лідія Андріївна, к.т.н., доцент

(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту  
Завідувач кафедри ІВТ

Проф. \_\_\_\_\_ О. Є. Середюк  
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

---

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

**м. Івано-Франківськ – 2024 рік**

# Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ІНСТИТУТ

(повне найменування закладу вищої освіти)  
інформаційних технологій

КАФЕДРА

інформаційно-вимірюваних технологій \_\_\_\_

Освітній рівень

магістр \_\_\_\_\_

Спеціальність

175 Інформаційно-вимірювальні технології

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри ІВТ**

**О. Є. Середюк**

« \_\_\_\_ » 12 \_2024 року

## **ЗАВДАННЯ**

### **НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

\_ Гуцул Владислав Олександрович  
(ПРИЗВИЩЕ, ІМ'Я, ПО БАТЬКОВІ)

1. Тема роботи Розроблення лабораторної установки для дослідження впливу поверхнево-активних речовин на фізико-механічні параметри сланцевих порід.

Керівник роботи Витвицька Лідія Андріївна, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від "02" 12 2023 року №787/7

2. Термін подання студентом роботи "20" 12. 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: робочий тиск в камері \_установки до 60 МПа; температура до 100<sup>0</sup> С

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналіз об'єкту контролю, існуючих методів і приладів контролю необхідних параметрів. Теоретичне обґрунтування методу контролю.

Розробка методики контролю. Розробка конструкції установки.

Метрологічний аналіз розробки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Теорія методу (A1) ; Функціональна структурна схема установки (A1); ). Загальна

конструкція. Складальне креслення установки (A1) та деталювання;

Метрологічний аналіз установки. (A1)

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 02.11.24\_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд методів і засобів контролю	02.11.24- 12.11.24	
2.	Теоретичне обґрунтування методу контролю	12.11.24- 20.11.24	
3.	Розробка конструкції установки	20.11.24-30.11.24	
4	Розробка методики контролю	30.11.24-04.12.24	
5	Метрологічний аналіз	04.12.24-12.12.24	
6.	Оформлення роботи.	12.12.24-20.12.24	

Студент \_\_\_\_\_ . Гуцул В.О.  
( ініціали ) ( підпис ) ( прізвище та

Керівник роботи \_\_\_\_\_ . Витвицька Л.А.  
( ініціали ) ( підпис ) ( прізвище та

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 62 с., 11 рис., 7 додатків, 23 джерела, 8 аркушів креслень.

В магістерській роботі здійснено аналіз існуючих методів і засобів контролю тиску і температури та установок для дослідження фізико-механічних параметрів гірських порід.

Розроблено лабораторну установку для дослідження впливу поверхнево-активних речовин на фізико-механічні параметри сланцевих порід. Розроблено функціональну схему установки, складальне креслення камери високого тиску, описано систему створення тиску та розраховано систему зміни тиску, розроблено електричну схему блоку керування та обробки даних.

Описано методику оцінювання характеристик невизначеності результатів вимірювання параметрів у розробленій установці.

Ключові слова: тиск; температура; гірська порода; сланцева порода; сланцевий газ

## ABSTRACT

Master's thesis: 62 p., 11 figs., 7 appendices, 23 sources, 8 sheets of drawings.

In the master's thesis analyzes existing methods and means of pressure and temperature control and installations for studying the physical and mechanical parameters of rocks.

A laboratory installation has been developed to study the influence of surfactants on the physical and mechanical parameters of shale rocks. A functional scheme of the installation has been developed, an assembly drawing of the high-pressure chamber has been developed, a pressure generation system has been described and a pressure change system has been calculated, an electrical circuit of the control and data processing unit has been developed.

A method for assessing the characteristics of the uncertainty of the results of parameter measurements in the developed installation has been described.

Tags: pressure; temperature; rock; shale rock; shale gas

## ЗМІСТ

Вступ.....	7
1. Аналіз відомих методів, приладів і установок для вимірювання фізико-механічних параметрів гірських порід.....	11
1.1 Методи вимірювання фізико-механічних параметрів гірських порід.....	11
1.2 Прилади для вимірювання надлишкових тисків і температур.....	19
1.3 Установки для дослідження фізико-механічних параметрів гірських порід .....	26
1.4 Постановка задачі на магістерську роботу.....	29
2. Розроблення лабораторної установки для дослідження впливу поверхнево-активних речовин на фізико-механічні параметри гірських порід.....	31
2.1 Опис функціональної схеми лабораторної установки.....	33
2.2 Розроблення і розрахунок камери високого тиску.....	35
2.3 Опис блоку задання статичного надлишкового тиску у камері...	43
2.4 Розроблення і розрахунок блоку задання пульсуючого тиску....	47
2.5 Вибір приладів для вимірювання тиску і температури.....	51
2.6 Опис блоку керування та обробки даних.....	51
2.7 Опис процесу дослідження на установці.....	53
3. Методика оцінювання характеристик невизначеності результатів вимірювання параметрів у розробленій установці.....	54
3.1 Характеристика невизначеності результатів вимірювань.....	54
3.2 Зіставлення оцінок характеристик похибок і невизначеностей результатів вимірювань.....	57

Висновки.....	60
Перелік посилань на джерела.....	61
Додатки	
Бібліографічна довідка	

## ВСТУП

У теперішні часи всі країни активно розробляють нові технології-для зменшення залежності від виробництва поновлюваного палива. Однак, жодна наявна технологія виробництва поновлюваного палива не може повністю замінити видобувні джерела енергії.

Зараз найбільш перспективним заміником видобувним енергоресурсам є газ, добутий із сланцевих порід, т. зв. сланцевий газ (СГ), який має добрі якості для заміни традиційних енергоресурсів.

Слід зазначити, що СГ є новим джерелом енергії. СГ потребує великої кількості новітньої техніки для видобутку і значних затрат, але є економічно вигідним для його постачання в території, розміщені поряд з свердловинами.

Сланцевий газ – це різновид природного газу, що зберігається у вигляді невеликих газових утворень, колекторів, в товщі сланцевого шару осадової породи Землі [1]. Основним способом видобутку сланцевого газу є спосіб ГРП – гідророзрив пласту. За допомогою бурової установки розробляють вертикальну свердловину на глибину залягання сланцевого пласту. Потім бур відхиляють від вертикалі і здійснюють горизонтальне буріння вздовж сланцевого пласту, після чого бур витягують і в пласт під тиском 50-100 МПа вприскують суміш води, піску і спеціальних реагентів. Гідророзрив пласту здійснюється за допомогою гідравлічного удару, що утворюється за рахунок впливу високого напору водяного струменю, що розриває в пласті утворені газові кишені. Сланцевий газ по вертикальній свердловині направляється в наземні сховища [2].

Окремі родовища сланцевого газу не є великими, але їх є багато всюди, і вони зможуть забезпечити потреби більшості країн в енергоресурсах, тому і становить велику зацікавленість багатьох країн і України, зокрема.

Природний газ є викопним паливом у найчистішій формі. Він

складається з двох елементів – вуглецю та водню й є газом у первинному стані [1]. Це означає, що він вимагає тільки мінімальної обробки й утворює при згорянні менше викидів, аніж інші викопні палива. Це робить природний газ важливим у якості палива, використання якого допомагає зменшити викиди діоксиду вуглецю та інших речовин у атмосферу.

Як і всі інші види горючих копалин, природний газ формувався протягом мільйонів років внаслідок розкладання органічних речовин у надрах землі. Традиційні родовища природного газу сформовані великими пастками, наповненими вільним газом, що може видобуватися одиночними свердловинами. В системах ущільнених та сланцевих порід скупчення газу утримуються в поровому просторі значно меншого об'єму.

Сланцевий газ (СГ) є різновидом природного газу, що утворився в надрах землі в результаті анаеробних хімічних процесів (процесів розкладання органічних речовин).

Природний газ у сланцевих породах формувався так само, як і всі інші вуглеводні. Поступово залишки мікроорганізмів відкладалися в осадових породах на дні стародавніх океанів. Через певний геологічний час ці осадові породи осіли глибоко під землею, де на них діяли висока температура і тиск, перетворюючи органічні речовини на нафту та природний газ. У більшості нафтових та газових пластах вуглеводні мігрують від материнської породи до верхніх пористих порід. Ці пласти формувалися на Землі понад століття. СГ видобувають безпосередньо з материнської породи. Сланець мілкозернистий та не пропускає воду, отже, газ не витікає природним чином. Сьогодні, коли енергетичний ландшафт в усьому світі постійно змінюється, СГ - це економічна вигода та надійність постачання. Нові знання та інноваційні технології всфері нафтогазової промисловості дозволяють компаніям видобувати природний газ зі сланцевих порід.

У надрах землі газ може бути сконцентрований в наступному вигляді: у вигляді скупчень метану у вугільних пластах; у газових утвореннях в

пластових умовах, у попутному газі (суміш пропану і бутану) з родовищами нафти, в товщі жорстких пісків, в сланцевих пластах, а також у вигляді кристалічних газогідратів в товщі морського дна. Природний газ в свою чергу є сумішшю газів, велика їх частина відноситься до метану, менша - до його гомологів, важких вуглеводнів: етану, бутану, пропану. До складу природного газу також входять неуглецеві з'єднання: сірководень, водень, діоксид вуглецю, гелій, азот. Кожне родовище має свій унікальний хімічний склад газу, найбільш яскраво виражені властивості, що викликають парниковий ефект, має метан.

Щодо зберігання, то СГ зберігається у невеликих газових утвореннях, колекторах, в товщі сланцевого шару осадової породи Землі. Запаси окремих газових колекторів невеликі, але вони величезні у сукупності і потребують спеціальних технологій видобутку. Що характерно для сланцевих покладів, то вони зустрічаються на всіх континентах, таким чином, практично будь-яка енергозалежна країна може себе забезпечити необхідним енергоресурсом.

Термін «сланцевий газ» використовується для позначення родовищ, де скупчення природного газу є крихітними «бульбашками» всередині товщ таких порід, як сланець.

Газові колектори у сланцевому пласті також мають свої відмінності і сконцентровані у вигляді:

- скупчень біля джерела органічних речовин подібно метану у вугільних пластах, однак у такому стані газ сильно поглинається органічними сполуками;
- скупчень у природних переломах.

Існує цілий набір геофізичних параметрів, які обумовлюють умови видобутку сланцевого газу, а, відповідно, визначають собівартість і вартість результуючого продукту.

Отож, очевидно, що питання розроблення установки для дослідження

впливу поверхнево-активних речовин на фізико-механічні параметри сланцевих порід є досить актуальним на даний час.

Об'єктом дослідження є фізико-хімічний процес впливу поверхнево-активних речовин на фізико-механічні параметри сланцевих порід

Предметом дослідження є способи визначення фізико-механічних параметрів сланцевих порід і оцінка їхнього стану.

Наукову новизна магістерської роботи полягає у розробленні установки та методики дослідження впливу поверхнево-активних речовин на фізико-механічні параметри сланцевих порід.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено лабораторну установку для дослідження впливу поверхнево-активних речовин на фізико-механічні параметри сланцевих порід та методику оцінювання характеристик невизначеності результатів вимірювання параметрів у розробленій установці.

# 1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ, ПРИЛАДІВ І УСТАНОВОК ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГІРСЬКИХ ПОРІД

## 1.1 Методи вимірювання фізико-механічних параметрів гірських порід

### 1.1.1 Методи вимірювання твердості гірських порід

Твердість гірських порід [3] – це властивість гірських порід чинити опір зовнішньому механічному впливу іншого тіла, яке є твердішим, і викликає деформування гірської породи. Твердість гірських порід залежить від типу кристалічної ґратки і її параметрів.

Твердість гірських порід визначають різними методами.

Методи визначення твердості наступні:

#### 1) Метод Брінелля.

Це спосіб визначення твердості матеріалів вдавллюванням на спеціальному приладі сталевій загартованій кульки (діаметром 10; 5 або 2,5 мм) в досліджуваний зразок під дією заданого навантаження протягом певного часу (10-30 секунд). На зразок породи діють загартованою сталевією кулькою із певним навантаженням, зразок витримують під дією навантаження протягом 10-30 с, вимірюється глибина вдавллювання, після чого основне навантаження знімається.

#### 2) Метод Віккерса.

У цьому методі визначення твердості малих зразків породи на зразок діють алмазною пірамідкою. Цей метод досить чутливий і універсальний.

#### 3) Метод Роквелла.

Метод базується на вимірюванні глибини проникнення твердого наконечника під заданим навантаженням у досліджуваний матеріал. Твердість потрібно вимірювати не менш ніж у трьох точках. Для обчислення приймають середнє значення результатів другого і третього вимірювань.

#### 4) Метод Шора.

Полягає в тому, що на зашліфовану поверхню зразка породи з певної висоти вільно падає бойок зі сферичним наконечником. Твердість по Шору визначається висотою відскоку бойка. Але висота відскоку характеризує не твердість, а пружність породи. Тому метод Шора підходить для таких порід, у яких твердість пропорційна модулю пружності.

#### 5) Метод Мооса.

Тепер досить поширеним є застосування шкали Мооса, в якій відносна твердість мінералів оцінюється за десятибальною шкалою. Суть методу полягає в тому, що гострий твердіший мінерал буде робити подряпину на досліджуваному зразку, який має меншу твердість.

На практиці у польових умовах широко застосовується шкала Мооса [3, 4] – десятибальна шкала твердості мінералів, за якою розрізняють десять ступенів твердості. Відносна твердість мінералів за цією шкалою визначається шляхом дряпання мінералу, який досліджується, гострими кінцями еталонних мінералів.

#### б) Метод вдавлювання пуансона.

Професор Л. А. Шрейнер [2] запропонував визначати твердість гірської породи шляхом вдавнення в зразок породи плоского пуансона з площею основи від 1 до 5 мм<sup>2</sup>.

Для порід високої твердості застосовуються пуансони зі вставкою з твердого сплаву у вигляді усіченого конуса з площею біля вершини  $S = 1 - 2$  мм<sup>2</sup>. Твердість і деякі інші властивості вимірюються на спеціальній установці УМП-3 (установка для визначення механічних властивостей гірських порід) або на гідравлічному пресі. Глибину впровадження пуансона в зразок

породи, визначають спеціальним вимірювальним індикатором, який забезпечує точність відліку до 0,001 - 0,002 мм.

Одночасно з твердістю можна визначити модуль пружності породи і коефіцієнт пластичності, який характеризує здатність породи давати залишкові деформації без руйнування.

За даними вимірювань будують графіки залежності деформації в мікронах (мк) від навантаження  $P$  (кг).

#### 7) Метод свердління.

Для визначення твердості виробляють свердління зразка породи свердлом певної форми [5, 6] при строго певній швидкості обертання і осьовому навантаженні. За міру твердості приймається або число оборотів, необхідне для впровадження свердла на задану глибину, або глибину впровадження свердла після певного числа обертів.

#### 8) Метод Герца.

Грунтується на вдавлюванні кулі у випробуваний зразок. Цей метод в деякій мірі відтворює процес руйнування породи при дробовому бурінні і бурінні долотами зі сферичними стрижнями.

### 1.1.2 Методи вимірювання густини гірських порід

Густина будь-якої речовини, і, зокреми, гірських порід [3, 7] – визначається як відношення маси речовини до її об'єму. Густина речовини залежить від її хімічного складу, фізичного стану, структури, пористості, включень у порах.

Густина гірської породи може бути визначена такими методами [8]:

#### 1) Метод безпосередніх вимірювань.

Полягає в тому, що з моноліту досліджуваної породи вирізають зразок правильної форми (куб, паралелепіпед, циліндр), вимірюють розміри зразка, обчислюють його об'єм, зважують зразок і розраховують щільність як відношення маси гірської породи до її об'єму.

## 2) Метод гідростатичного зважування.

Зразок спочатку зважують у повітрі, а потім занурюють його у парафін, після чого зразок зважують знову. Знаходять об'єм запарафінованого зразка за втратою його ваги при зануренні в воду. Для цього зразок зважують в воді на звичайних чи гідростатичних вагах. Далі зразок виймають з води, просушують фільтрувальним папером і зважують на повітрі, щоб перевірити чи не проникла вода в пори породи. Знаходять масу і об'єм парафіну, яким було покрито зразок, визначають об'єм зразка без парафіну і потім визначають густину гірської породи.

### 1.1.3 Методи вимірювання пористості гірських порід

Пористість гірської породи [3] – це об'єм порового простору, який можна кількісно оцінити відношенням об'єму пор до об'єму зразка гірської породи. Внаслідок пористості у гірській породі можуть бути рідинні і газові включення.

Пористість гірської породи характеризують коефіцієнтами повної (або абсолютної) пористості – це відношення об'єму пор у зразку породи до видимого його об'єму.

В залежності від організації форм порожнинного простору гірської породи виділяють такі різновиди пористості:

- загальна (фізична, або абсолютна) – характеризує сумарний об'єм закритих та відкритих пор зразка гірської породи;
- відкрита – це така, що по сполучених між собою порах можуть рухатись гази і рідини;
- закрыта – це така, що проходження флюїдів немає;
- ефективна – показує відношення об'єму пор, які за заповнені рідиною чи газом до повного об'єму гірської породи.

За генетичними ознаками виділяють первинну і вторинну пористість:

- первинна – пористість, яка існувала в гірській породі від моменту її формування;

- вторинна – пористість, яка з'явилась в процесі існування гірської породи внаслідок її розчинення і/або перекристалізації.

За морфологічним типом розрізняють такі види пористості:

- гранулярна (або міжзернова), яка зустрічається в теригенних породах і залежить від ступеня окатаності, сортування, форм і способу укладки зерен, а також від типу і складу цементу;

- кавернова – в карбонатних породах;

- тріщинувата – в будь-яких гірських породах.

Пористість визначає фізичні властивості гірських порід – міцність, швидкість поширення пружних хвиль, стисливість, електричні, теплофізичні та інші параметри. У нафтогазовій геології вищевказані геофізичні параметри дозволяють встановити у гірських породах наявність видобувних джерел енергії.

Методи визначення загальної пористості гірських порід [7, 8] наступні:

1) За питомим електричним опором гірських порід.

Цей метод застосовують для визначення гранулярних колекторів теригенних і карбонатних відкладів. Він ґрунтується на залежності між коефіцієнтом пористості і параметром пористості (або відносним опором гірської породи). Параметр пористості є коефіцієнтом пропорційності між інтегральним опором водонасиченої породи і опором води, яка її насичує.

2) За комплексом методів нейтронного гамма-каротажу (НГК) і гамма-гамма-щільнісного каротажу (ГГКЩ).

Методи визначення пористості гірських порід колекторів зводяться в основному до визначення об'ємів пор, зразка і зерен породи шляхом насичення, зважування, занурення в рідину.

#### 1.4 Методи вимірювання міцності гірських порід

Крім твердості гірські породи характеризуються міцністю, яка визначається як властивість не руйнуватись під дією різних фізичних і механічних навантажень [3].

Міцність мінералів характеризують як:

- теоретична – вона визначається на основі теорії твердого тіла з врахуванням сил міжатомної взаємодії;
- статична – вона визначається при дії на гірську породу короткочасних навантажень, що без прскорень;
- динамічна – вона визначається при дії на гірську породу динамічних навантажень і при цьому не виникає руйнування;
- тривала – здатність гірської породи витримувати тривалі навантаження;
- залишкову – рівень несучої здатності зруйнованої гірської породи, що дорівнює мінімальним напруженням при даній величині деформації, які порода витримує без подальшого деформування і руйнування;
- електричну – визначається значеннями напруги пробою.

Міцність гірських порід визначається за такими методами [9, 10]:

1) Метод одноосьового стиску зразків правильної форми плоскими плитами.

Метод призначений для визначення характеристик гірських порід стосовно до розрахунків і проектування гірничих робіт, обладнання, проведення дослідницьких та порівняльних випробувань.

Суть методу полягає у вимірюванні максимального значення руйнуючого тиску, прикладеного до плоских торців правильного циліндричного зразка через плоскі сталеві плити.

2) Метод визначення межі міцності при зрізі зі стискуванням

У цьому методі зразок гірської породи поміщають у матрицю

випробувального пристрою. Між зразком і обіймами матриці прокладають фольгу. Зібрану із зразком матрицю разом з опорним пристосуванням встановлюють в центрі опорної плити випробувальної машини (преса), розташовуючи осі роликів паралельно до країв матриці. На зразок діють з рівномірною швидкістю зміни тиску в межах 1-5 МПа/с до зруйнування. Значення руйнівної сили  $P$  визначають в кілоньютонах.

3) Метод комплексного визначення межі міцності при одновісному розтягу і стиску.

Метод призначений для масових випробувань гірських порід з метою комплексного визначення меж міцності при одновісному розтягу і стиску в заданому щодо будови породи напрямку.

Сутність методу визначення межі міцності при розтягуванні полягає у вимірюванні руйнівної сили при багаторазовому розколюванні зразків пластинчастої і брущатої форми і визначення межі міцності при стисненні – у вимірюванні руйнівної сили стиснення отриманих при розколюванні зразків кубічної форми. Особливість методу полягає у визначенні меж міцності при розтягу і стиску на одній пробі.

#### 1.1.5 Методи вимірювання тривкості гірських порід

Тривкість гірських порід [3] – це загальноприйняте умовне поняття, яке символізує сукупність механічних властивостей мінералів, що виявляється в різних технологічних процесах при видобутку і переробці корисних копалин. Тривкість – здатність гірських порід чинити опір руйнуванню під дією зовнішніх сил. Тривкість залежить від твердості, в'язкості, крихкості, пружних властивостей, мінералогічного складу і структури, щільності. Тривкість залежить від сил взаємолії між частинками гірських порід та вмісту міцних мінералів в породі і знижується, як правило, при зволоженні. Виділяють 10 категорій тривкості [7].

Коефіцієнт тривкості  $K_{тр}$  визначають за роботою, яку треба затратити на

подрібнення гірської породи при падінні на неї металевого тягара із заданої висоти.

Класифікація тривкості гірських порід за М.М.Протодьяконовим наведена у табл. А.1.

#### 1.1.6 Деякі інші властивості гірських порід

Крихкість гірських порід [3] – це властивість гірських порід порівняно легко рватися, ламатися або руйнуватися при статичному навантаженні без помітної залишкової деформації (не більше за 5% від величини деформацій руйнування). Абсолютна більшість гірських порід належить до крихких матеріалів. Крихкість мінералів – властивість мінералів кришитися при дряпанні вістрям ножа по його поверхні. Якщо на мінералі залишається риса з порошком по краях, то він є крихким. За крихкістю мінерали поділяють на 5 груп: 1) дуже крихкі (пірит, гіпс), 2) крихкі (пентландит, тетраедрит), 3) слабо пластичні (кварц, піротин), 4) пластичні (магнетит), 5) дуже пластичні (мідь, галеніт).

Здатність гірських порід вбирати і пропускати крізь пори воду внаслідок сили тиску капілярного підняття, чи сили тяжіння чи іншої називається водопроникністю.

Розрізняють різні ступені водопроникності слабопроникні чи легкопроникні. В залежності від ступеня водопроникності розробляють і технології різних робіт, пов'язаних з видобуванням енергоресурсів.

Важливою властивістю гірських порід є пластичність – здатність деформуватись внаслідок механічної дії.

Багато гірських порід під дією високого тиску і температури, а глинисті, мергельні і крейдяні породи при зволоженні стають пластичними. Тому це слід враховувати при проведенні гірничих робіт.

Повзучість гірських порід – це повільна безперервна пластична

деформація під впливом постійного навантаження або механічного напруження. Повзучість в тому чи іншому ступені властива всім твердим тілам, як кристалічним, так і аморфним [3].

Пружність гірських порід – це здатність тіл повертатись до початкової форми після припинення дії механічного навантаження.

Пружність гірських порід оцінюється параметрами пружності – коефіцієнтом пропорційності між напруженнями і відповідними їм пружними деформаціями.

## 1.2 Прилади для вимірювання надлишкових тисків і температур

### 1.2.1 Прилади для вимірювання надлишкових тисків

Прилади для вимірювання тиску носять загальну назву манометрів. Їх класифікують за принципом дії та видом тиску, що вимірюється.

За видом тиску, що вимірюється, прилади розподіляють на такі: манометри (для вимірювання абсолютного і надмірного); вакуумметри (для вимірювання розріджування); напоромірні (для вимірювання невеликого надмірного тиску); тягоміри (для вимірювання невеликого розріджування); диференціальні манометри (для вимірювання різниці двох тисків); барометри (для вимірювання атмосферного тиску).

За принципом дії найбільш розповсюджені наступні прилади для вимірювання тиску: рідинні, у яких тиск, що вимірюється, врівноважується гідростатичним тиском стовпа рідини; деформаційні, у яких величина тиску визначається за величиною деформації пружинного елемента; електродні, у яких використовується зміна електричних властивостей деяких матеріалів під впливом тиску.

Рідинні манометри в основному застосовуються для вимірювання тиску у лабораторних умовах при градуванні та повірці приладів, тому вони далі не розглядаються. У відповідності з функціональним призначенням пристроїв для вимірювання тиску, та і будь-які прилади, розподіляються на показуючі,

самопншучі, регулювальні, сигналізуєчі (реле) та вимірювальні перетворювачі. При побудові функціональних схем вибір засобів автоматизації значно зручніше проводити за їх функціональними можливостями. Тому далі розглядаються прилади тиску з урахуванням цієї класифікації.

#### Деформаційні прилади тиску

Деформаційні прилади тиску складають найбільшу групу пристроїв автоматичного контролю. У цих приладах переміщення під впливом тиску, що вимірюється, пружистого чутливого елемента (мембрана, сильфон, одно- або багатовиткова пружина) перетворюється за допомогою передаточного механізму (секторний чи важільний) у переміщення покажчика або механізму, пов'язаного із системою перетворення показань тиску на відстань.

Трубчасті металеві пружини застосовуються у приладах для вимірювання тиску від кількох Па до 1000 МПа. Мембранні чутливі елементи використовують у приладах для вимірювання невеликого надмірного тиску, розрідження і перепаду тиску. Мембрани виготовляють з гнучкого матеріалу: гуми із тканинною основою, особливих пластмас і металу. З метою підвищення ходу рухливого центру мембрани, стабілізації жорсткості і можливості її регулювання прилади будують найчастіше за схемою силової електричної чи пневматичної компенсації. Сильфони виготовляють з латуні, берилієвої бронзи і корозійно стійкої сталі. Для підвищення жорсткості, зменшення впливу гістерезису і нелінійності характеристики часто у середину сильфона ставлять гвинтову циліндричну пружину. У дифманометрах для вимірювання перепаду при великому статичному виску середину сильфонів заповнюють рідиною.

Показуючі прилади для вимірювання тиску як правило застосовують у схемах автоматизації для контролю параметра за місцем, тобто безпосередньо на об'єкті керування. Це пов'язано з тим, що за умов

віддалення цих приладів на відстань від об'єкта керування виникають великі затримки показань. Чутливим елементом, що сприймає тиск, у цих приладах є трубчаста (манометрична) металева пружина з овальним перерізом.

Технічні прилади, призначені для вимірювання тиску і розрідження рідини, що неагресивна і не кристалізується, газу та пари. Прилади, що мають фланець, служать для щитового монтажу. Виконання приладів за стійкістю до механічних впливів та впливу навколишнього середовища • вібростійке, уда- роміцне і брнзкозахщене.

В даний час на ринку представлений широкий вибір приладів для вимірювання тиску. Розглянемо деякі з них.

1) Вимірювальний перетворювач APLISENS PC-28.

Перетворювач тиску APLISENS PC-28 (дод.А, рис. А1) призначений для вимірювання розрідження, а також надлишкового й абсолютного тиску газу, пари й рідини.

П'єзорезистивний чутливий елемент вбудований в перетворювач, що відділяється мембраною від середовища й заповнений спеціальною манометричною рідиною.

Характеристики перетворювача PC-28:

- Межі вимірювання тиску: від -0,1 до 100 МПа.
- Мінімальна ширина діапазону: 1,6 кПа.
- Вихідний сигнал:  $(4 \div 20)$  мА або  $(0 \div 10)$  В.
- Діапазони допустимих температур робочого середовища: від -50 до 85 °С.
- Діапазон компенсованих температур: від -20 до 70 °С.
- Точність вимірювань:  $\pm 0,25\%$  .
- Напруга живлення: від 12 до 36 В.
- Іскробезпечне виконання.

2) Давач надлишкового тиску 415-ДИ малогабаритний, моделі 8XX8.

Зовнішній вигляд давача наведений в додатку А, на рисунку А.2. Вимірювані середовища: рідина, газ, пар. Межі вимірювань надлишкового

тиску: від 2,5 кПа до 250 МПа; абсолютного тиску: від 25 кПа до 250 кПа;  
розрідження: від -2,5 кПа до -100 кПа.

Характеристики давача 415-ДИ:

- Вихідні сигнали: 0-5 мА, 4-20 мА, 0,4-2 В.
- Основна похибка: не більше  $\pm 0,5$  ( $\pm 0,25$ ;  $\pm 0,15$ ) %.
- Температура навколишнього середовища: -40 ... 80 °С.
- Напруга живлення: від 12 до 24 В.
- Виконання: звичайне, вибухозахищене (ExiaIICT5 X або ExibIICT5 X).
- Ступінь захисту від впливу пилу і води: IP65.
- Габаритні розміри: 120 x 36 x 42 мм.
- Маса: 300 г.

Переваги:

- малі габарити,
- корпус з нержавіючої сталі,
- сучасна електроніка,
- підвищена стабільність характеристики,
- зручний роз'єм «Hirschmann»,
- низьке енергоспоживання,
- можливість роботи від літєвої батареї протягом 3 років (для давачів з вихідним сигналом 0,4-2В).

3) Високоточний давач надлишкового/абсолютного тиску підвищеної міцності (на високі тиски) DMP 333i.

Інтелектуальні давачі серії DMP 333i (дод.А, рис.А.3) представляють наступне покоління давачів тиску і є подальшим розвитком наших стандартних давачів для промислового застосування. Давачі призначені для універсального застосування та відповідають високим вимогам по точності і стабільності характеристик.

Характеристики давача DMP 333i:

- Вимірюваний діапазон: від 0 ... 70 бар до 0 ... 600 бар.
- Вихідний сигнал: 4 ... 20 мА / 2-х пров.
- Похибка: 0,1% ВП.
- Електричне приєднання: стандартне виконання - IP 65, роз'єм DIN 43650.
- Різьба приєднання до процесу: стандартне виконання G ½ .
- Напруга живлення: 12-36 В.
- Струм: 4-20 мА.

### 1.2.2 Прилади для вимірювання температури (до 100 °С)

Термометр опору [12] – це термометр, як правило, в металевому або керамічному корпусі, чутливий елемент якого являє собою резистор, виконаний з металевого дроту або плівки і має відому залежність електричного опору від температури. Найпопулярніший тип термометра - платиновий, це пояснюється високим температурним коефіцієнтом платини, її стійкістю до окислення і хорошою технологічністю. В якості робочих засобів вимірювань застосовуються також мідні і нікелеві термометри.

Вимірювання температури з використанням термоелектричних перетворювачів ґрунтується на термоелектричному ефекті Зесбека. У замкненому колі, що складається з двох або декількох різнорідних провідників, виникає електричний струм, якщо хоча б два місця з'єднання (спаю) провідників мають різну температуру. Коло, яке складається з двох різнорідних провідників, називається термоелектричним перетворювачем (ГЕП). Спай, що має температуру і {місце, де вимірюється температура) є робочим, а другий з постійною температурою  $t_0$  - вільний. Провідники називаються термоелектродамн. Термоелектричний ефект пояснюється наявністю у металі вільних електронів, кількість яких у одиниці об'єму різне для різних металів. У спаї з температурою  $t$  електрони з металу де їх більше дифундують у метал з меншою кількістю вільних електронів більш

інтенсивно, ніж у зворотному напрямку. Тому перший метал (електрод) заряджується позитивно, а другий - негативно. За таким станом між електродами виникає деяка різниця потенціалів. При цьому за умов  $t_0 = \text{const}$  ця різниця потенціалів однозначно буде визначатися величиною робочої температури. З метою вимірювання цієї різниці потенціалів застосовують вторинні прилади (мілівольтметри, потенціометри, вимірювальні перетворювачі). З'єднання ТЕП з цими приладами здійснюють компенсаційними провідниками. ТЕП градується при температурі  $t_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ , рідше при  $t_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Типові термоелектричні перетворювачі мають різноманітне конструктивне оформлення, яке залежить, головним чином, від умов їх застосування. При цьому їхня довжина визначається місцем, де вимірюється температура.

Діаметр захисної трубки як правило складає 6, 8, 10 і 12 мм. Замість фланця може бути приварений штуцер з різьбою, або установлений пересувний штуцер з упором. Робочий спай може бути ізольований або з'єднаний із захисною арматурою. Виконання усіх типів вібростійке.

Термістори – це по суті термометри опору, виконані на основі змішаних оксидів перехідних металів. Два основні типи термісторів - NTC (з негативним температурним коефіцієнтом опору) та PTC (з позитивним коефіцієнтом). Найбільш поширений тип – NTC. PTC термістори використовуються тільки в дуже вузьких діапазонах температур, в кілька градусів, в основному в системах сигналізації і контролю.

Великою перевагою термісторів є різноманітність форм і мініатюрність.

Біметалічні термометри – це технічні термометри, дія яких заснована на ефекті розширення двох металів з різним температурним коефіцієнтом лінійного розширення. Термометри не вимагають джерел живлення, можуть

встановлюватися в системи контролю та регулювання температури. Перевагою є низька вартість та іскро- і пожежобезпечність. Недоліком є низька точність і стабільність.

Манометричні термометри – це технічні термометри, дія яких заснована на зміні тиску газу в балоні чутливого елемента. Термометри поступаються у точності термометрам опору. Недоліком є також необхідність повного занурення балона у вимірюване середовище. Манометричні термометри можуть оснащуватися спеціальними пристроями, що перетворюють сигнал в електричний і дозволяють проводити регулювання температури.

Розглянемо деякі типи пристроїв для вимірювання температур.

1) Давач температури з вбудованим перетворювачем МВТ 3560.

МВТ 3560 (дод.Б, рис.Б.1) призначений для використання в тих випадках, коли потрібне надійне і точне вимірювання.

Характеристики давача МВТ 3560:

- Надкомпактна конструкція.
- Кожух з кислототривкої нержавіючої сталі (AISI 316L)
- Діапазон температур: від  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+200^{\circ}\text{C}$ .
- Термометр опору: Pt 1000.
- Вихідні сигнали: 4 - 20 мА або логометричні.
- Захисна трубка: діаметр 8 мм.
- Різна довжина вставки: 50, 100, 150, 200 або 250 мм.

2) Перетворювач температури вимірювальний ПТІ-02.

Перетворювач (дод.Б, рис.Б.2)призначений для точного вимірювання температури та передачі вимірювальної інформації дистанційно в ПК або систему телемеханіки по стандартному цифровому інтерфейсу.

Перетворювач температури ПТІ-02 застосовується для роботи в складі систем автоматичного контролю різних технологічних процесів у всіх галузях нафтової і газової промисловості, на підприємствах теплоенергетики,

водопостачання, транспорту, переробки.

ПТІ-02 встановлюється на технологічному об'єкті, має незначні габарити і масу та володіє високими метрологічними характеристиками в широкому температурному діапазоні.

Довжина вимірювальної частини перетворювача і протяжність кабелю зв'язку з системою телемеханіки можуть варіюватися за бажанням замовника.

Технічні можливості ПТІ-02:

- Передача вимірювальної інформації в систему телемеханіки в стандарті RS-485.
- Калібрування та корекція характеристик перетворювача програмним шляхом.
- Робота як в режимі безперервної передачі інформації, так і за запитом системи телемеханіки.

Характеристики перетворювача:

- Діапазон вимірювання температури: від  $-50$  до  $150^{\circ}\text{C}$ .
- Межі допустимої абсолютної похибки:  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .
- Роздільна здатність:  $0,01^{\circ}\text{C}$ .
- Діапазон робочих температур: від  $-40$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ .
- Напруга живлення: від 5 до 15 В.
- Споживана потужність: не більше 0,075 Вт.
- Вихідний сигнал: RS-485.
- Протокол зв'язку: Modbus RTU.
- Протяжність кабелю зв'язку: не більше 1200 м.
- Маса: не більше 0,5 кг.
- Довжина вимірювальної частини: 80; 100; 120; 160; 250; 320 мм.

1.3 Установки для дослідження фізико-механічних параметрів гірських порід

1.3.1 Установка для вивчення фізико-механічних властивостей

кільцевих зразків гірських порід з наскрізним отвором

Установка (дод.В, рис.В.1) містить товстостінний циліндричний корпус з розміщеною в ньому кільцевою оболонкою з еластичного матеріалу, кришку з осьовим отвором, закріплену на корпусі, а також дно, виконане з отвором, і штуцер, що розміщений на циліндричній частині корпусу [13]. Установка забезпечена регульованим джерелом тиску і вимірником переміщень. Дно корпусу виконане у вигляді фланця з осьовим отвором, що закріплюється на корпусі, в корпусі розміщений вкладиш, виконаний у вигляді диска з хвостовиком. Частина хвостовика розміщена в отворі кришки, а його кінець має упор, що взаємодіє з вимірювачем переміщень, який встановлений на рамі. Корпус, дно і кришка корпусу, еластична оболонка і вкладиш утворюють герметичну порожнину, пов'язану з регульованим джерелом тиску через штуцер. Крім того, діаметр циліндричного виступу на внутрішній поверхні фланця дорівнює діаметру диска вкладиша.

Установка складається з корпусу 1, на циліндричній частині якого розміщено отвір 2 для під'єднання штуцера. У середині корпусу, товщина якого залежить від величини прикладеного тиску, розміщена кільцева оболонка 3 з еластичного матеріалу. Дно корпусу виконано у вигляді закріпленого на корпусі фланця 4 з осьовим отвором 5, обладнаним штуцером. На внутрішній поверхні фланця виконаний циліндричний виступ 6. На корпусі закріплена кришка 7 з осьовим отвором 8. У корпусі розміщені кільцевий зразок 9 з осьовим отвором 10, вкладиш, виконаний у вигляді диска 11, і хвостовик 12. Щоб підвищити надійність герметизації зразка, діаметр диска виконаний рівним діаметру циліндричного виступу. Частина хвостовика розміщена в осьовому отворі кришки, а кінець хвостовика забезпечений упором 13, що взаємодіє з вимірювачем 14 переміщень. Установка забезпечена рамою 15, закріпленою на фланці корпусу. На рамі встановлено вимірювач переміщень. Корпус, фланець, кришка, кільцева

оболонка з еластичного матеріалу, диск і хвостовик вкладиша утворюють герметичну порожнину 16, пов'язану через отвір і штуцер з регульованим джерелом тиску.

Робота пристрою здійснюється наступним чином. У корпусі 1 всередині кільцевої оболонки 3 з еластичного матеріалу розміщують вкладиш, виконаний у вигляді диска 11 і хвостовика 12 і підготовлений для дослідження механічних властивостей кільцевий зразок 9 з осьовим отвором 10. На корпусі закріплюють фланець 4 і кришку 7 з осьовим отвором 8, в яку входить частина хвостовика. На фланці за допомогою гайки закріплена рама 15, на якій встановлено вимірвач 14 переміщень, що взаємодіє з упором 13, розміщеним на кінці хвостовика. Через штуцер і отвір 2 в герметичну порожнину 16 подають відому кількість робочої рідини з відомим коефіцієнтом стисливості, створюють тиск в порожнині, який впливає на зразок як по зовнішній поверхні через кільцеву оболонку з еластичного матеріалу, так і в осьовому напрямку через диск вкладиша. Осьове переміщення вкладиша (диска і хвостовика) через упор фіксується вимірником переміщень. При відомих значеннях стисливості і обсязі робочої рідини розраховують величину стиснення зразка, а за величиною стиснення і по зміні довжини зразка розраховують модуль пружності і коефіцієнт Пуассона.

При визначенні механічних характеристик зразка можна міняти діаметри хвостовика і отвори зразка, підбираючи їх для отримання більш точних результатів в залежності від очікуваних характеристик зразка. Так, для жорстких і міцних зразків збільшують діаметр отвору зразка і зменшують діаметр хвостовика, а для м'яких і маломіцних зразків - навпаки.

1.3.2 Апаратура для вивчення особливостей фільтрації флюїдів у низькопроникних породах-колекторах

Для вимірювання пористості, проникності, залишкового водонасичення та інших фізичних параметрів низькопористих порід застосовують ті самі методи, що і для традиційних колекторів [14].

Низькопористі колектори, на відміну від високопористих, складені переважно мінеральними зернами псаміто-алевритової структури і містять, як правило, більше глинистого або карбонатного цементу. В них переважають порові канали діаметром менше  $1 \cdot 10^{-6}$  м, що зумовлює зростання питомої поверхні пор і підсилює її активність під час взаємодії з технологічними рідинами на різних етапах будівництва свердловин.

Зацікавленість у вивченні фільтраційних ефектів у низькопроникних породах зростає з освоєнням покладів нафти та газу на великих глибинах, де збільшується частка саме таких порід.

Для виконання експериментальних робіт була змонтована спеціальна багатоопераційна апаратура (дод.Г, рис. Г.1), яка дає можливість вимірювати газо- і рідинопроникність та інші параметри зразків низькопористих порід у досить широкому діапазоні перепадів і середніх тисків.

До кернової камери через маніфольди 2 і 5 приєднані блоки 1 і 4 відповідно вхідних і вихідних манометрів. У кожному блоці встановлено по три змінні зразкові манометри на різні діапазони виміру тиску, що можуть працювати синхронно або послідовно. Крім пружинних манометрів, у вхідну систему через маніфольд 15 залучаються дифманометри 16. Завдяки цьому з'являється можливість вимірювати проникність зразків у дуже широкому діапазоні перепадів тисків – від 10-20 мм водяного стовпа або  $(1-2) \cdot 10^{-4}$  МПа до 10 МПа.

Окрім серійного, є також великий дифманометр заввишки 3 м. За його допомогою не лише вимірюються малі вхідні тиски, але є можливість перевірити точність початкового відрізка до 0,3 МПа шкали пружинного манометра. Далі послідовно звіряються початкові відрізки шкали наступних

манометрів з більш точними попередніми, чим підвищується надійність вимірів.

Для виміру газопроникності через маніфольди 11 і 15 на вхід у зразок подається азот від балона 12 з редуктором. Вхідні тиски підтримуються на заданому рівні за допомогою редуктора, а протитиски на виході із зразка встановлюються вентилем 6 для регулювання тиску.

У фільтраційних дослідах з рідинами при малих витратах не застосовується машинний привід, що непридатний у цих умовах, а використовується пружна енергія газу з балона 12 через розділювач 13. У лінію, по якій циркулює рідина, резервно залучено ручний прес 14. Він дає можливість створювати малі тиски рідини до моменту подолання опору тертя ущільнювальних гумових кілець у поршні розділювача 13.

Вимірювання об'ємів газу чи рідини, що профільтрувалися через зразок породи, здійснюються на виході з вентиля 6. Для рідини використовуються мензурки та мікробюретки, а для газу макро- і мікрогазоміри 9, що автономно вмикаються через маніфольд 8.

#### 1.4 Постановка задачі на магістерську роботу

Проблема видобутку сланцевого газу є дуже актуальною сьогодні. Відомим є той факт, що потрапляння поверхнево-активних речовин в мікротріщини гірських порід знижує межу міцності породи, а, отже, сприяє таким чином активнішому утворенню тріщин.

Розглянуті у пункті 1.3 установки не призначені для дослідження сланцевих порід при пластових умовах. Тому, на основі проведених теоретичних досліджень методів і приладів для визначення фізико-механічних властивостей гірських порід доцільно буде наступним кроком перейти до практики. А саме, до розробки лабораторної установки для дослідження впливу ПАР на інтенсифікацію тріщиноутворення в гірських породах, зокрема в сланцях.

## 2 РОЗРОБЛЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН НА ФІЗИКО- МЕХАНІЧНІ ПАРАМЕТРИ СЛАНЦЕВИХ ПОРІД

Той факт, що міцність твердих тіл може знижуватися в результаті адсорбції з навколишнього середовища поверхнево-активних речовин, відомий вже багато років [8]. Цей ефект спостерігався на найрізноманітніших матеріалах - гірських породах, різних видах скла, металах. Певне середовище, що викликає пониження міцності, може бути газоподібної і рідкої форми.

Ефект Ребіндера - явище адсорбційного впливу середовища на механічні властивості і структуру твердих тіл [9]. Сутність цього явища полягає в полегшенні деформування і руйнування твердих тіл і мимовільному протіканні в них структурних змін. Це явище відбувається в результаті пониження їх вільної поверхневої енергії при контакті з середовищем, що містить речовини, здатні до адсорбції на міжфазній поверхні. Ефект виявляється лише при спільній дії середовища і механічних напруг. Суть ефекту полягає в зниженні міцності і виникненні крихкості, зменшенні довговічності, полегшення диспергування.

Рідина, в якій відбуваються процеси деформування і руйнування твердого тіла, може активно брати участь у цих процесах, полегшуючи і прискорюючи їх. Ця активна участь є наслідком проникнення рідини в глиб тіла, що деформується, в зону, яка названа зоною попереднього руйнування.

Усі реальні тверді тіла містять безліч неоднорідностей, починаючи від дефектів або слабких місць в структурі кристалу - в кристалічній ґратці - і закінчуючи мікротріщинами різних розмірів, що пронизують кристалічні зерна, а також зосередженими на межах між ними. Розриви при руйнуванні твердого тіла відбуваються по місцях найменшого опору.

У процесах механічного руйнування твердого тіла під впливом зовнішніх зусиль, в деформованих шарах, прилеглих до поверхні руйнування, утворюється зона попереднього руйнування, створюється область підвищеної тріщинуватості. У зародкові мікротріщини цієї зони проникає зовнішнє середовище, наприклад рідина, що змочує дане тверде тіло або окремі молекули поверхнево-активних речовин (ПАР), що входять до складу цієї рідини. Підвищуючи молекулярну спорідненість цієї рідини до поверхні твердого тіла, можна значно полегшити процеси його деформування і руйнування, викликаючи розм'якшення твердого тіла в зоні підвищеної тріщинуватості, і таким чином викликати зниження твердості або міцності тіла, що деформується під впливом проникнення рідини в зону попереднього руйнування.

Міцність визначається критичним напруженням  $R_k = F_k/S$  – тобто зусиллям  $F_k$ , що викликає руйнування при даному виді деформації, віднесеним до одиниці площі  $S$  і вимірюється в Па/м<sup>2</sup>. Для пружно-крихких або ідеально-пружних тіл, тобто для таких тіл, в яких пластичні деформації не виникають і всі деформації аж до розриву є пружними, міцність однозначно визначається максимальною напругою, яка може бути створена в деформованому тілі зовнішніми зусиллями. Для твердих тіл, які володіють за даних умов значною пластичністю, таке максимальне напруження – межа текучості – залежить від швидкості деформації, тобто від часу прикладання зусиль.

При бурінні, подрібненні і ін. випадках, а також при вимірюваннях «місцевої» міцності при випробуваннях механічних властивостей твердого тіла вдавлюванням або дряпанням – основною характеристикою стає твердість, вимірювана роботою  $A$  утворення нової поверхні  $\Delta S$  подрібнювального твердого тіла.

Полегшення деформацій і руйнування твердих тіл під впливом даної рідини можуть бути ще значно посилені невеликими добавками до неї

особливих активних речовин. Ці речовини є поверхнево – активними (ПАР), вони адсорбуються з розчину поверхнями руйнованого твердого тіла, скупчуючись на них під впливом молекулярних сил.

Регулювання складу промивної рідини правильним підбором малих добавок ПАР ґрунтує новий метод інтенсифікації процесів буріння з використанням фізико-хімічної (молекулярної) взаємодії рідини з поверхнями, що руйнуються.

ПАР проникають у мікротріщини в зоні попереднього руйнування, які створені і процесі деформації СП. Проникнення ПАР зумовлює додаткові деформації і руйнування породи.

Під зовнішнім тиском породи втрачають свою пористість, зазвичай з руйнуванням порід. Пористість обумовлює водо- і газопроникність, вологість порід.

Тріщинуватість - сукупність тріщин в масиві гірських порід, зазвичай тектонічного походження, визначається кількістю тріщин на 1 м довжини оголення масиву, чим вище тріщинуватість, тим легше домогтися обвалення порід з масиву, тим нижча стійкість оголень.

Гірські породи в зразку і в масиві під зовнішнім тиском змінюють свої розміри, відчуваючи пружні (здатні до відновлення) і пластичні деформації.

Гірські породи дуже добре витримують напруги стиснення і погано - напруги розтягнення.

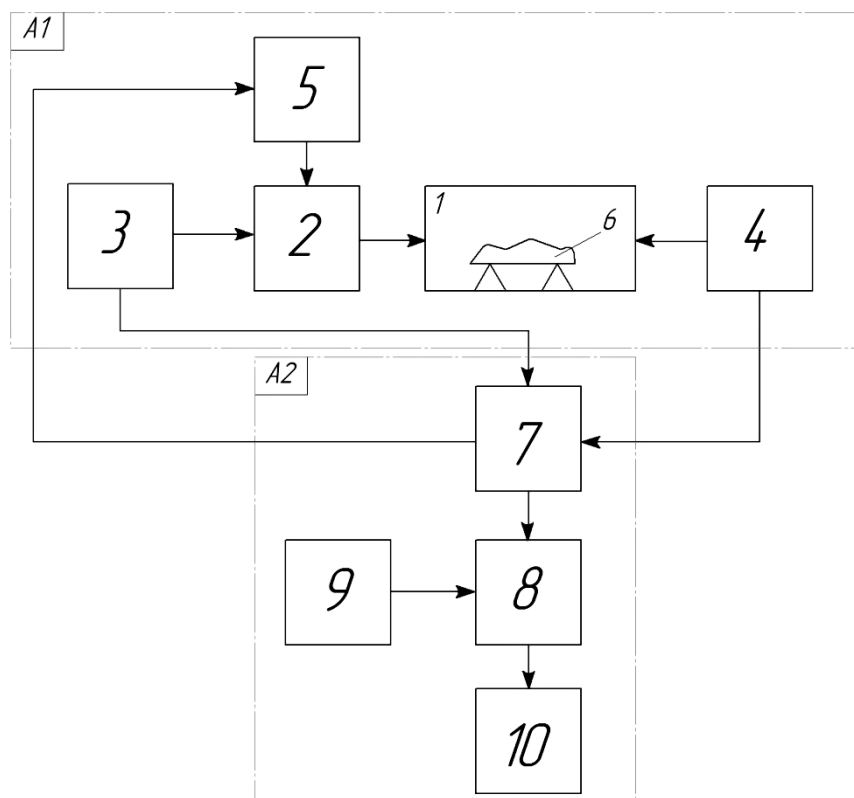
Міцність порід при всебічному стискуванні зростає в 20 і більше разів. Статична міцність порід менше динамічної приблизно в 1,5 рази. При насиченні розчинами ПАР міцність порід різко знижується.

Так як основним завданням є розкрити можливості застосування ПАР при видобутку СГ, потрібно дослідити, як ПАР впливають на зміну таких показників як міцність, тріщинуватість, пористість гірської породи і як на цей процес впливають пластові умови, зокрема, тиск.

## 2.1 Розроблення установки для лабораторних досліджень

Виходячи із заявленої вище мети досліджень було розроблено структурну схему установки для лабораторних досліджень впливу ПАР і тиску, що імітує пластові умови, на процес зміни таких показників як міцність, тріщинуватість, пористість гірської породи

На рисунку 2.1 показана функціональна схема розроблюваної установки. Установка складається з механічного А1 та електронного А2 блоків.



А1 – механічний блок; А2 – електронний блок;

1 – камера високого тиску; 2 – система створення тиску розчину ПАР в камері; 3 – давач надлишкового тиску; 4 – давач температури; 5 – система зміни тиску в камері; 6 – досліджуваний взірець сланцевої породи; 7 - блок керування та обробки даних; 8 – ПК; 9 – клавіатура; 10 – монітор.

Рисунок 2.1 – Функціональна схема розроблюваної установки

До блоку А1 входить камера надлишкового тиску 1 в яку поміщується зразок досліджуваної сланцевої породи 6, система створення тиску розчину ПАР в камері 2, давач надлишкового тиску 3, давач температури 4, система зміни тиску в камері 5. А2 складається з блоку керування та обробки даних 7, персонального комп'ютера 8, клавіатури 9 і монітора 10.

В камері тиск може змінюватися в межах(40÷60)МПа, температура – (90÷100) °С, амплітуда пульсацій – (5÷10) МПа.

## 2.2 Розробка камери збільшеного тиску

Камера для досліджень впливу високого тиску на досліджуваний зріз сланцевої породи є рознімною товстостінною посудиною.

Будова камери складається з таких деталей: корпус та дві плоскі кришки. Кришки прикріплюються до корпусу за допомогою фланцевих з'єднань.

Розрахунок всіх деталей здійснювався відповідно до вимог ДСТУ [16].

### 2.2.1 Обчислення товщини стінок корпусу камери

Формули для обчислень використовуються при умові, що відношення товщини стінки до діаметра є таким:

а) для обручів і труб для діаметрів більших за  $D \geq 200$  мм

$$\frac{s-c}{D} \leq 0,1, \quad (2.1)$$

де  $s$  –товщина стінки, мм;  $c$  –величина добавок до обчислюваних товщин стінок, мм;  $D$  – внутрішній діаметр камери, мм;

б) для труб з діаметром більшим за  $D < 200$  мм

$$\frac{s-c}{D} \leq 0,3. \quad (2.2)$$

Формули для обчислень використовуються при умові, що розрахункові температури не перевищують значень, при яких враховується повзучість матеріалів, тобто при таких температурах, коли допустиме напруження визначають тільки за межею текучості або тимчасовим опором (межею

міцності): для вуглецевої сталі температура не повинна перевищувати 380 °С, для низьколегованої сталі - 420 °С, для аустенітної сталі – 525 °С.

Якщо на стінку корпусу діє тиск  $p$ , то її товщину треба обчислювати за формулою:

$$s \geq s_p + c, \quad (2.3)$$

враховуючи, що

$$s_p = \frac{pD}{2\sigma\varphi_p - p}, \quad (2.4)$$

де  $s_p$  – розрахована товщина стінки корпусу, мм;  $p$  – допустимий тиск в камері, МПа;  $D$  – внутрішній діаметр камери, мм;  $\sigma$  – допустиме напруження при заланій температурі, МПа;  $\varphi_p = 1$  – коефіцієнт міцності зварених швів.

Добавку до розраховуваних товщин треба брати за формулою:

$$c = c_1 + c_2 + c_3. \quad (2.5)$$

де  $c_1$  – добавка для врахування корозії і ерозії;  $c_2$  – добавка для врахування допуску;  $c_3$  – добавка технологічна.

Допустимий внутрішній тиск в камері не повинен бути більшим від:

$$p = \frac{2\sigma\varphi_p(s-c)}{D+(s-c)}. \quad (2.6)$$

Розрахуємо товщину стінок корпусу із аустенітної сталі 08Х22Н6Т при таких умовах:  $p = 60$  МПа,  $t = 90^\circ\text{C}$ ,  $D = 103$  мм,  $\sigma = 204$  МПа. Згідно (2.4) маємо:

$$s_p = \frac{60 \cdot 10^6 \cdot 103 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 204 \cdot 10^6 - 60 \cdot 10^6} = 17,76 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Прийнявши, що  $c = 2,5$  мм, виконавча товщина стінки корпусу згідно (2.3) становитиме:

$$s \geq 17,76 + 2,5 = 20,26 \text{ мм.}$$

Заокруглено:  $s = 21,5$  мм.

Допустимий внутрішній тиск в камері буде згідно (2.6):

$$[p] = \frac{2 \cdot 221,5 \cdot 10^6 \cdot 1(21,5 - 2,5) \cdot 10^{-3}}{103 \cdot 10^{-3} + (21,5 - 2,5) \cdot 10^{-3}} = 63,54 \text{ МПа.}$$

Блок-схему обчислення товщини стінки корпусу приведено на рис.2.2.

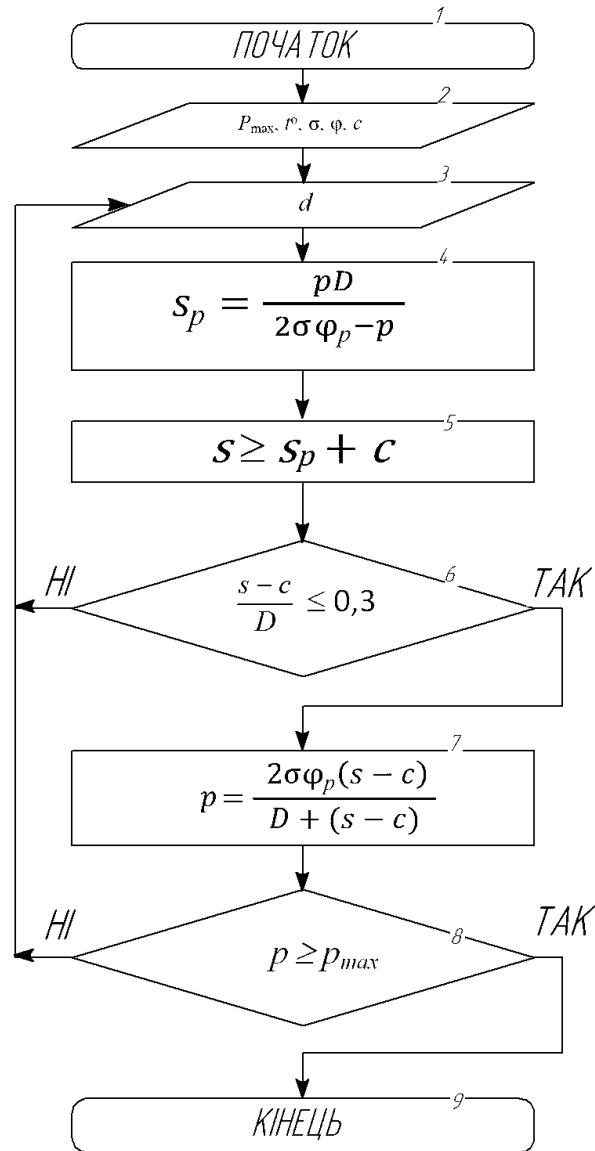


Рисунок 2.2 –Блок-схема обчислення товщини стінки корпусу

### 2.2.2 Вибір фланцевого з'єднання

Будова і розміри фланцевих з'єднань визначаються за ДСТУ [18]. Для фланцевих з'єднань встановлено ряд параметрів – умовний діаметр та робочий тиско. ДСТУ передбачає два типи будови фланцевих з'єднань: із зазором між торцями фланців та без зазору (рис.2.3, 2.4).

Фланцеві з'єднання із зазором між торцями використовуються для робочих тисків 14, 21, 35 МПа. З'єднання передбачає використання сталевих ущільнювальних прокладок ортогонального поперечного перерізу з двостороннім контактом (рис. 2.5). Ущільнення з'єднання досягається в результаті створення контактних напружень на спряжених поверхнях, величина яких залежить від зусилля затягування фланців і внутрішнього тиску.

Якщо тиск в камері є більшим за 35 МПа, то слід застосовувати використовуються фланцеві з'єднання без зазору та з прокладками типу БХ (рис. 2.6).

При складанні такого фланцевого з'єднання прокладка дотикається лише до зовнішньої поверхні ущільнювальної канавки на фланці. При затягуванні шпильок з'єднання прокладка зазнає радіальної деформації, в результаті чого, в зоні контакту прокладки з ущільнювальною канавкою виникають контактні напруження. Даний тип фланцевого з'єднання належить до самоущільнювальних з'єднань. Внаслідок одностороннього контакту прокладки і канавки підвищення внутрішнього тиску призводить до підвищення контактних напружень між прокладкою і зовнішньою поверхнею канавки, в результаті чого підвищується герметичність з'єднання.

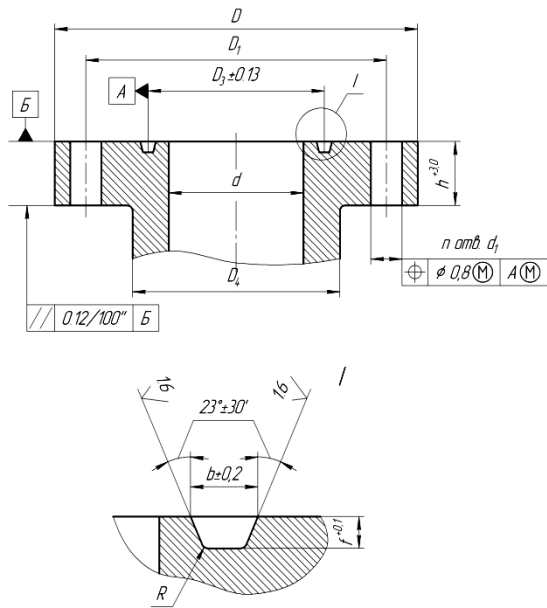


Рисунок 2.3 – Фланец типу 1

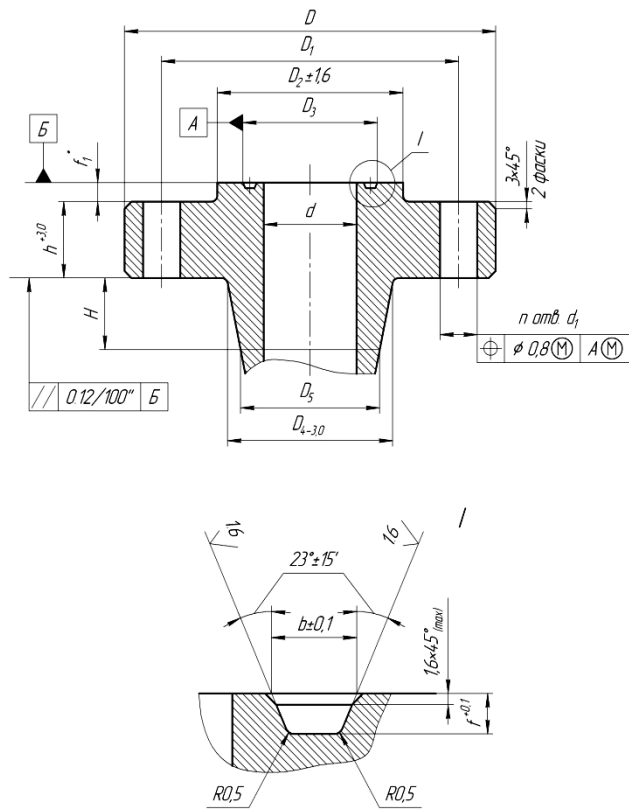


Рисунок 2.4 – Фланец типу 2

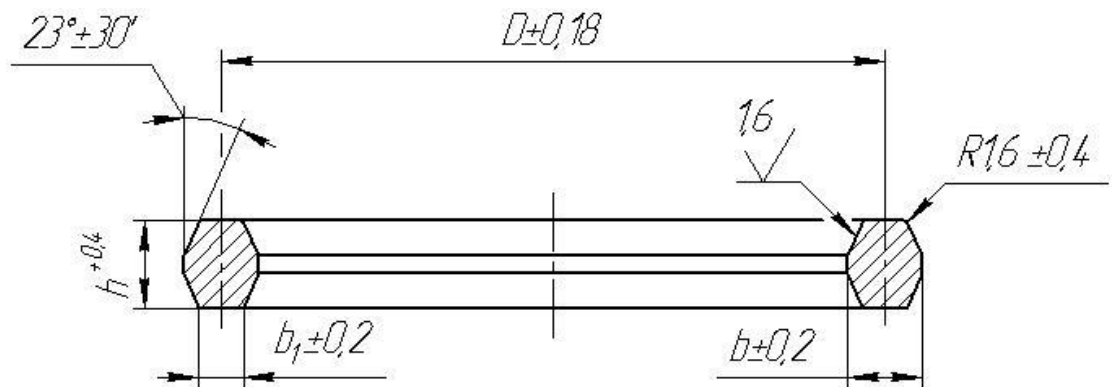


Рисунок 2.5 – Прокладка типу П

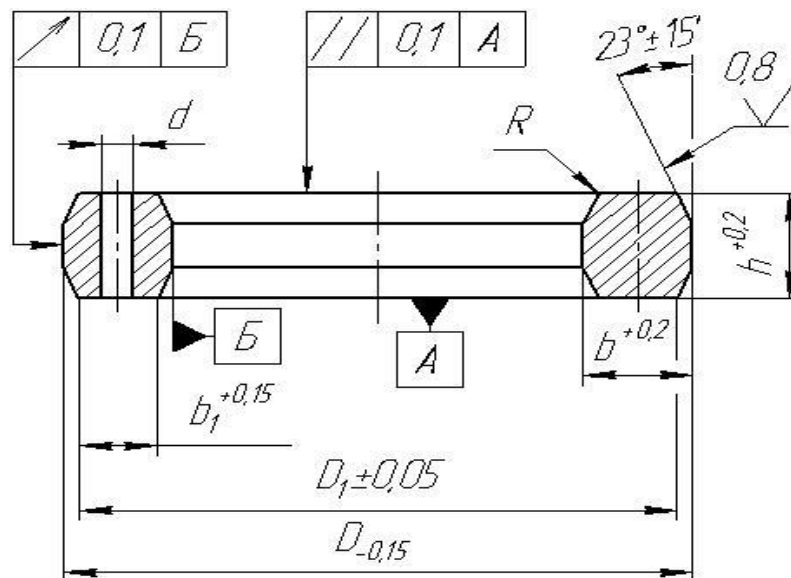


Рисунок 2.6 – Прокладка типу БХ

Використаємо готове фланцеве з'єднання 100×70 (дод. Д, табл. Д.1) типу 2 (рис.2.4), яке задовольняє наступним умовам: діаметр прохідного отвору – 103 мм, максимальний робочий тиск – 70 МПа [18].

Для даного типу з'єднання використовуємо такі складові частини:

- гайки М27; шпильки М27×120.

### 2.2.3 Обчислення розмірів плоских кришок для камери

Формули застосовуються Для Обчислення розмірів плоских круглих кришок для камери за умови, що:

$$\frac{s_1 - c}{D_p} \leq 0,11, \quad (2.7)$$

де  $s_1$  – виконавча товщина стінки кришки, мм;  $c$  – сума надбавок до розрахункової товщини стінки кришки, мм;  $D_p$  – розрахунковий діаметр кришки, мм.

Товщину плоских круглих кришок посудин і апаратів, що працюють під внутрішнім надлишковим тиском, розраховують за формулами [16]:

$$s_1 \geq s_{1p} + c, \quad (2.8)$$

враховуючи, що

$$s_{1p} = K K_n D_p \sqrt{\frac{p}{\varphi(\sigma)}}, \quad (2.9)$$

де  $K$  – коефіцієнт, що залежить від конструкції кришки, визначається з таблиць (дод. Е, табл.Е.1);

$K_n$  – коефіцієнт, який визначається послабленням кришки отвором.

Величину коефіцієнта послаблення  $K_n$  для кришок з декількома отворами, обчислюють за формулою:

$$K_n = \sqrt{\frac{1 - \sum \left(\frac{d_i}{D_p}\right)^2}{1 - \frac{\sum d_i}{D_p}}}, \quad (2.10)$$

де  $d_i$  – діаметр  $i$ -го отвору в днищі або кришці, мм.

Допустимий тиск на плоске днище або кришку визначають за формулою:

$$p = \left(\frac{s_1 - c}{K \cdot K_n \cdot D_p}\right)^2 \sigma \varphi. \quad (2.11)$$

Розрахуємо значення коефіцієнта послаблення плоскої кришки отворами  $K_n$ , прийнявши тип з'єднання 11 (дод.Є, табл.Є.1), при якому  $D_p = D_3 = 258,5$  мм,  $D_3$  – діаметр болтової окружності. Згідно (2.10) отримаємо:

$$K_n = \sqrt{\frac{1 - \left(2 \left(\frac{32}{258,5}\right)^2 + \left(\frac{12,5}{258,5}\right)^2\right)}{1 - \frac{32 + 32 + 12,5}{258,5}}} = 1,16.$$

Визначимо розрахункову товщину кришки  $s_{1p}$  згідно (2.9):

$$s_{1p} = 0,40 \cdot 1,16 \cdot 258,5 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{60 \cdot 10^6}{1 \cdot 204 \cdot 10^6}} = 65,01 \text{ мм.}$$

З урахуванням надбавки  $c = 2,5$  мм, виконавча товщина стінки кришки згідно (2.8) становить:

$$s_1 \geq 65,01 + 2,5 = 67,51 \text{ мм.}$$

Отже, прийmemo  $s_1 = 68$  мм.

Відповідно до (2.11) тиск, що діятиме на кришку становить:

$$p = \left(\frac{(66 - 2,5) \cdot 10^{-2}}{0,4 \cdot 1,12 \cdot 258,5 \cdot 10^{-2}}\right)^2 \cdot 204 \cdot 10^6 \cdot 1 = 61,33 \text{ МПа.}$$

Алгоритм розрахунку товщини стінки кришки наведений на рис. 2.7.

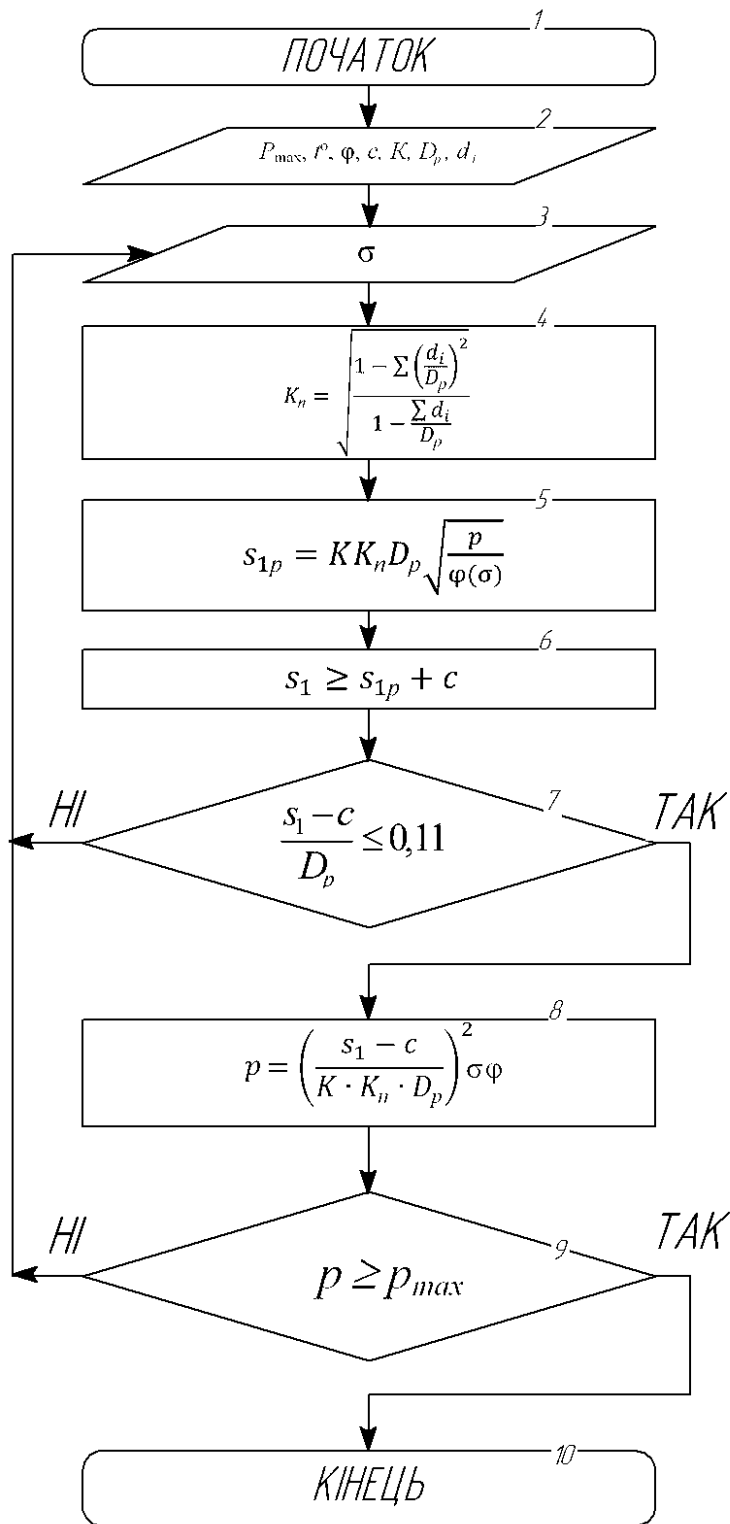


Рисунок 2.7 – Алгоритм розрахунку товщини стінки кришки

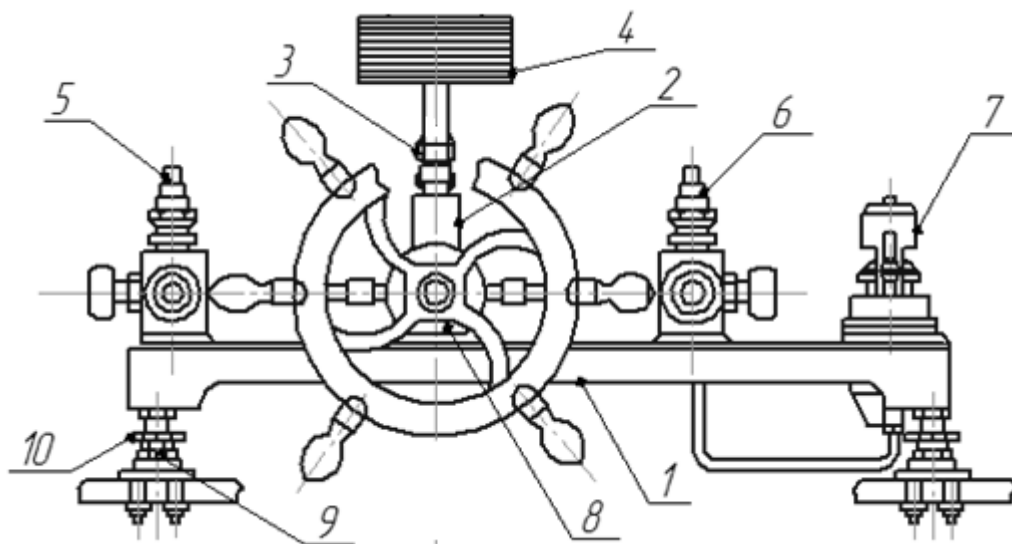
### 2.3 Опис блоку задання статичного надлишкового тиску у камері

Статичний тиск у системі ми створюватимемо за допомогою вантажопоршневого манометра МП-600.

В основу вимірювання тиску поршневими приладами покладений закон рівноваги твердого тіла, що знаходиться під впливом рідини. Сила вимірюваного тиску рідини, яка прикладена до поршня приладу, врівноважується зовнішньою силою, величина якої служить мірою тиску. В тому випадку, коли зовнішньою силою є вага вантажів, що навантажують поршень, прилади називаються вантажопоршневими.

У манометрі (рис. 2.8) є вузол для задавання тиску і чутливий елемент колонка (поршнева пара).

У склад колонки входять: корпус, циліндр, поршень, гайки, фільтр, вантажоприймальний вузол, показчик, де знаходиться при роботі поршень.



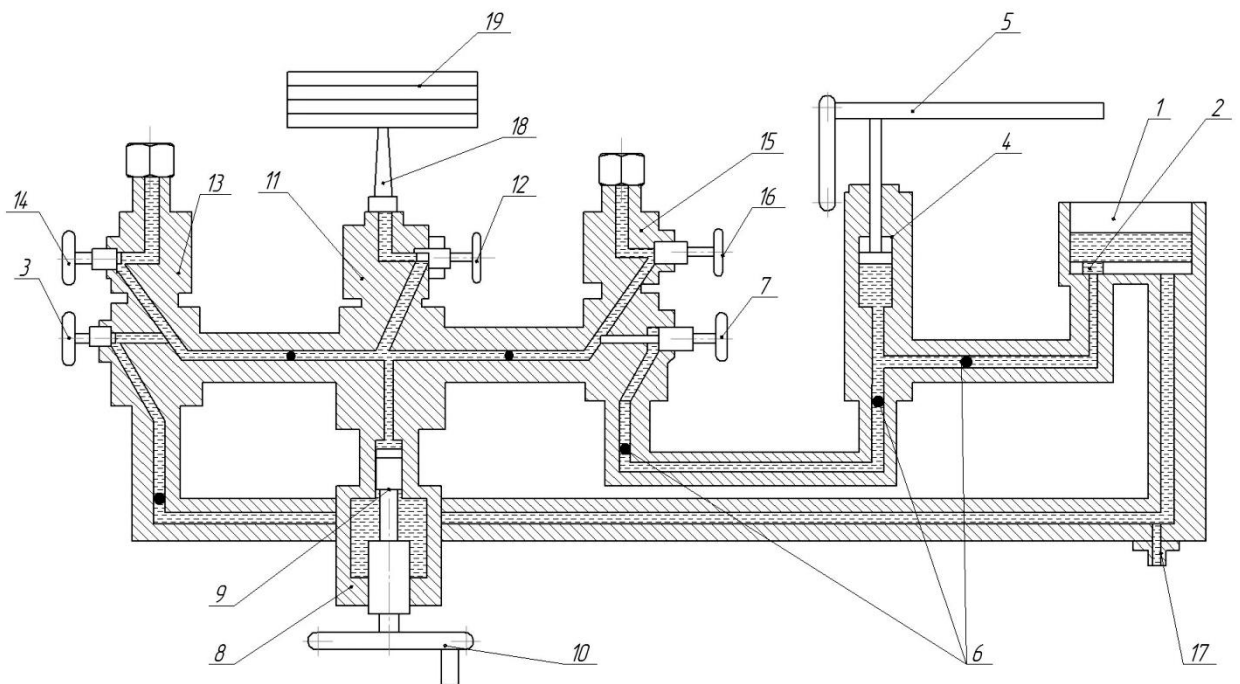
- 1 – станина; 2 – стійка центральна; 3 – колонка; 4 – набір вантажів; 5 – стійка ліва; 6 – стійка права; 7 – насос ручний скальчатий; 8 – гідропрес; 9 – ніжки; 10 – гвинти регулювальні

Рисунок 2.8 – Конструкція манометра МП-600

В об'ємі циліндра в зазор під поршнем попадає рідина для змочування. При цьому поршень треба вручну провертати для рівномірного змащування.

Вузол для задавання тиску представляє собою гідравлічну систему, яка побудована на станині 1 (рис. 2.8). На центральній стійці 2 встановлено колонку 3 і набір тягарів 4. На лівій 5 і правій 6 стійках встановлюються манометри для перевірки. Збоку встановлено ручна помпа 7. Всі елементи з'єднані між собою латунними трубками. Для горизонтування станини передбачено регулювальні гвинти 10 у опорних ніжках 9.

Гідравлічна схема (рис.2.9) задатчика тиску складається з бачка для робочої рідини 1 з фільтром 2 і вентиля для скиду тиску в системі 3, ручного скальчатого насоса 4 з рукояткою 5, зворотними кульковими клапанами 6 і запірним вентилям 7, гідропреса 8 з поршнем 9 і маховиком 10, центральної стійки 11 із запірним вентилям 12, лівої стійки 13 із запірним вентилям 14, правої стійки 15 із запірним вентилям 16, зливної пробки 17.



1 – бачок; 2 – фільтр; 3, 7, 12, 14, 16 – вентиля запірні; 4 – ручний насос;  
 5 – рукоятка; 6 – клапани кулькові; 8 – гідропрес; 9 – поршень; 10 – маховик;  
 11, 13, 15 – стійки; 17- пробка для зливу; 18 – колонка; 19 – набір вантажів

Рисунок 2.9 – Гідравлічна схема манометра МП-600

Перш ніж почати роботу слід провести такі операції:

1) Викрутити заглушки для транспортування із стійок (рис. 2.8).і У гідросистему залити робочу рідину. Для цього треба:

- відкрити запірний вентиль 3 відкрити (рис. 2.9), всі решту вентиля закрити;

- заповнити робочою рідиною бачок 1 до рівня на 10-15 мм вище фільтра;

- повертати маховик 10 за годинниковою стрілкою до тих пір, щоб поршень 9 дійшов до упору. Після цього вентиль 3 закрити, а решту і вентиля відкрити;

Приводячи в рух ручний насос 4 ручкою 5, наповнюється робочою рідиною гідросистема, так щоб рідина появилася в отворах стійок 11, 13, 15.

- закрити вентиля 12, 14, 16, а вентиль 7 має бути відкритим;

дальше наповнити робочою рідиною гідропрес повертаючи при цьому маховик 10 проти годинникової стрілки; при потребі підкачувати рідину насосом4;

- повертаючи маховик 10 за годинниковою стрілкою, зробити в системі невеликий тиск, а після цього відкрити вентиль 3. Якщо при цьому появляться пухирці у бачку, то знову заповнити систему рідиною і знову провести вище вказані пункти.

2) На стійку 2 задатчика тиску установити колонку 3 (рис. 2.8).

3) Відгоризонтувати станину регулювальними гвинтами 10.

Порядок роботи з манометром наступний.

До стійок 13 і 15 під'єднують калібрувальні та повірочні прилади. Також під'єднують до стійки 15 вимірювач тиску, а до стійки 13 – шланг високого тиску.

Після цього треба відкрити вентиля 7, 12, 14, 16.

Встановити поршень 9 у крайнє положення повертанням колеса 10 вліво. За допомогою насоса 4 встановити тиск всередині установки до 5 МПа.

Після цього закрутити вентиль 7.

Коли ми повертаємо колесо 10 вправо, то при цьому збільшуємо тиск всередині установки, а коли повертаємо колесо 10 вліво – то знижуємо тиск всередині установки.

Величина тиску буде пропорційною сумі тягарців 19 (від одного тягарця буде тиск 5 МПа), також додатково від тиску, що створює сам поршень.

В процесі роботи поршень повинен знаходитись приблизно посередині між мітками, що вказують крайні положення поршня 8.

Після закінчення роботи досліджень треба встановити поршень вниз до мітки. Щоб у системі не залишився тиск – відкрити вентиль 3.

За допомогою манометра МП-600 можна отримувати тиск в межах від 1 МПа до 60 МПа з похибкою  $\pm 0,05\%$ .

Для сполучень в гідравлічній системі використовуються рукави високого тиску PBT і 1058 HYDROSCAND 352.

Для з'єднання манометра з камерою високого тиску ми використаємо шланг (рукав) високого тиску. Рукав високого тиску (PBT) – це гнучкий трубопровід для транспортування спеціальних гідравлічних і моторних рідин [19]. Конструкційно PBT являє собою дві і більше гумових трубки поміщених одна в одну, армованих металевим обплетенням, обладнаних з'єднувальними фітингами.

Для кріплення шлангів використовуються додаткові деталі типу фітинги, адаптери та втулки.

#### 2.4 Розробка вузла пульсуючого тиску

Для створення пульсуючого тиску використовують вузол, в якому кроковий двигун обертає вал з насадкою, на якій є кулачок, що при обертанні валу двигуна тисне на верхню пластину. Між верхньою та нижньою пластинами розміщується пружина стиснення.

### 2.4.1 Розрахунок стискуючої пружини

Пружини бувають гвинтовими циліндричними і спіральними.

За умовами експлуатації і пружини працюють на розтяг, стискування, кручення та згин під дією певного навантаження.

Експлуатаційні властивості пружин залежать від діаметру витка і товщини дроту, а також відстані між витками, тобто кроку пружини.

Розгортка на площину гвинтової лінії пружини показано на рис. Є.1 (дод. Є).

Геометричні параметри гвинтових пружин зв'язані між собою співвідношеннями:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= \frac{H}{\pi D i}, \\ l &= \frac{H}{\sin \alpha} = \frac{\pi D i}{\cos \alpha}, \\ \varphi &= 2 \pi i = \frac{2 l}{D} \cos \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

де  $H$  – висота пружини;  $D$  – середній діаметр;  $l$  – довжина дроту;  $\varphi$  – центральний кут пружини;  $i$  – число витків;  $\alpha$  – кут підняття гвинтової лінії.

При стисканні пружини може наступити втрата стійкості, і вісь пружини якщо стисканні пружини при деякому критичному навантаженні вона почне викривлятися. Це означає, що настає втрата стійкості, що є недопустимим. Умова стійкості пружини при будь-якій осаді наступна:

$$\frac{H}{D} < \left( \frac{H}{D} \right)_{\text{гр}}, \quad (2.13)$$

де  $\left( \frac{H}{D} \right)_{\text{гр}}$  – гранична відносна висота.

Для пружин з круглого дроту круглого  $\left( \frac{H}{D} \right)_{\text{гр}} = \frac{2,62}{\nu}$ , де  $\nu$  – коефіцієнт, що залежить від способу кріплення пружини.

Пружини характеризуються величиною допустимого напруження  $\tau$ , яке визначається так:

$$\tau = \frac{\tau_{\text{T}}}{n_{\text{T}}}, \quad (2.14)$$

де  $\tau_{\text{T}} = (0,5 \div 0,6) \sigma_{\text{T}}$  – границя текучості при зсуві,  $n_{\text{T}}$  – коефіцієнт запасу.

Параметри пружин з круглого дроту визначають, користуючись номограмою 1 (дод. Ж, рис. Ж.1).

Діаметр  $d$  дроту для пружини визначають, користуючись верхньою половиною номограми в залежності від індексу  $c = \frac{D}{d}$ .

Кількість витків пружини  $i$  знаходять на нижній половині номограми, де наведено залежності  $\frac{i}{d}$  від індекса  $c$  для кожного значення відношення  $\frac{G}{k}$ , де  $G$  – модуль пружності матеріалу пружини,  $k$  – жорсткість пружини.

Виходячи із діаметру дроту визначаємо на кривій  $\frac{\tau}{P_{max}}$  індекс  $c$ . Обчисливши відношення  $\frac{G}{k}$ , знаходимо на відповідній кривій для цього значення  $\frac{G}{k}$ , відношення  $\frac{i}{d}$ , а з нього визначаємо число витків  $i$ .

Розраховану пружину треба перевірити за умовою стійкості і уточнити розраховані параметри

Для розрахунку пружини задамо вихідні параметри: круглий дріт із сталі 50ХФА з модулем пружності  $G = 21,8 \cdot 10^3$  кг/мм<sup>2</sup> та межею текучості  $\tau_T = 108$  кг/мм<sup>2</sup>; діюче навантаження  $P = 20$  кг; осадку пружини  $\lambda = 70$  мм; висота пружини  $H = 150$  мм; діаметр  $D = 70$  мм; коефіцієнт запасу по текучості  $n_T \geq 1,5$ ;

Визначаємо допустиме напруження згідно (2.14):

$$\tau = \frac{\tau_T}{n_T} = \frac{108}{1,5} = 72 \text{ кг/мм}^2.$$

Жорсткість пружини становить:

$$k = \frac{P}{\lambda} = \frac{20}{70} = 0,29 \text{ кг/мм.} \quad (2.15)$$

Знайдемо наступні відношення:

$$\frac{[\tau]}{P_{max}} = \frac{72}{20} = 3,6 \frac{\text{кг/мм}^2}{\text{кг}}, \quad (2.16)$$

$$\frac{G}{k} = \frac{21,8 \cdot 10^3}{0,29} = 7,5 \cdot 10^4 \frac{\text{кг/мм}^2}{\text{кг/мм}}. \quad (2.17)$$

На лінії номограми  $\frac{[\tau]}{P_{max}} = 3,6 \frac{\text{кг/мм}^2}{\text{кг}}$  у верхній половині визначаємо, що діапазону значень індекса  $c$  від 4 до 20 відповідає діапазону значень діаметру дроту від 1,9 до 3,5 мм. Вибираємо діаметр дроту  $d = 3,2$  мм з індексом  $c = 14$ . В цьому випадку середній діаметр пружини рівний:

$$D = d \cdot c = 3,2 \cdot 14 = 44,8 \text{ мм}, \quad (2.18)$$

а зовнішній

$$D_3 = D + d = 44,8 + 3,2 = 48 \text{ мм}. \quad (2.19)$$

На відповідній лінії номограми  $\frac{G}{k} = 7,5 \cdot 10^4 \frac{\text{кг/мм}^2}{\text{кг/мм}}$  в нижній половині номограми при  $c = 14$  визначаємо  $\frac{i}{d} = 3,5 \frac{1}{\text{мм}}$ . Тоді кількість витків буде рівна  $i = 3,5 \cdot d \approx 11,5$ .

Повна висота пружини стиснення буде рівна:

$$H_{\Pi} = d \cdot i + \lambda_{max} + \Delta, \quad (2.20)$$

де  $\lambda_{max}$  – найбільша осадка пружини;  $\Delta$  – величина, що залежить від висоти кінцевих витків і враховує проміжок між витками при найбільшій осадці пружини,  $\Delta = 3 + 3 = 6$  мм.

Отже, згідно (2.20) повна висота пружини рівна:

$$H_{\Pi} = 3,2 \cdot 12 + 70 + 6 \approx 115 \text{ мм}.$$

Висота  $H$  пружини дорівнює повній висоті  $H_{\Pi}$  без висоти кінцевих неробочих витків:  $H = 115 - 3 = 112$  мм.

Кут підняття  $\alpha$  знайдемо із формули (2.12):

$$\text{tg} \alpha = \frac{H}{\pi D i} = \frac{112}{3,14 \cdot 44,8 \cdot 11,5} \approx 0,068,$$

звідки

$$\alpha \approx 4^\circ.$$

Щоб оцінити стійкість пружини спочатку знайдемо її відносну висоту:

$$\frac{H}{D} = \frac{112}{44,8} = 2,46. \quad (2.21)$$

Якщо вибрати таке кріплення торців пружини, щоб не було їх

повертання, то коефіцієнт  $\nu = 0,5$ . Пружина стає нестійкою тільки при  $\frac{H}{D} \geq 5,24$ . Отже, в нас пружина буде стійкою при прогинанні.

Для покращення стійкості пружини її нижню частину розмістимо в трубу довжиною  $l = 45$  мм та з внутрішнім діаметром  $d = 50$  мм.

Між пластинами вузла встановлюють чотири направляючі із сталевих трубок ( $d_{\text{вн.мет.}} = 18$  мм,  $d_{\text{зовн.мет.}} = 22$  мм,  $l_{\text{мет.}} = 70$  мм), які ковзатимуть по внутрішній поверхні чотирьох фторопластових трубок ( $d_{\text{вн.фтор.}} = 22$  мм,  $d_{\text{зовн.фтор.}} = 28$  мм,  $l_{\text{фтор.}} = 45$  мм).

#### 2.4.2 Вибір крокового двигуна та розрахунок моменту сил.

Якщо довжина кулачка на валу крокового двигуна становить 100 мм, а треба створити силу  $F = 200$  Н, то момент сили буде: [21]:

$$M = F \cdot r \cdot \sin \alpha = 200 \cdot 0,1 \cdot 1 = 20 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (2.22)$$

де  $r$  – довжина кулачка, м;  $\alpha$  – кут, між вектором сили  $F$  і вектором положення  $r$ .

Значить треба о вибрати кроковий двигун з моментом  $200 \text{ кгс} \cdot \text{см}^2$ . Потрібні параметри є в двигуна А200К-М599(W)-G7.2 фірми Autonics.

### 2.5 Підбір засобів для вимірювання тиску і температури

#### 2.5.1 Підбір датчика тиску

Щоб вимірювати тиск у камері, використаємо малогабаритний датчик тиску Danfoss MBS 3000 060G1110 (дод. 3, рис. 3.1). Такий датчик тиску зроблений з нержавіючої сталі, вібростійкий і може працювати в газових та рідинних середовищах. Діапазон вимірювання тиску 600 бар з точністю 1 % при температурі середовища від  $-40$  до  $+95$  °С..

#### 2.5.2 Підбір датчика температури

Оскільки в камері імітуються пластові умови для застосування ПАР, тобто, високі тиски і температури, то потрібно вимірювати і температуру.

Із широкого асортименту здавачів вибрано компактний датчик TF 35 (дод. 3, рис. 3.2), який ці умови задовольняє і він має штуцер з різьбою, що дозволяє закрутити його в потрібному місці.

У термометрі TF 35 застосовують сертифіковані платинові вимірювальні елементи, які дозволяють вимірювати високу температуру і мають високу стабільність.

## 2.6 Розробка електронного блока керування

Електрична схема установки служить для обробки сигналів від давачів тиску і температури, керування кроковим двигуном та реєстрації результатів вимірювань на дисплеї.

Зовнішнє джерело, яке під'єднане до мережі змінного струму 220 В, живить блок керування та кроковий двигун M1 стабілізованою напругою 24 В. Для реалізації цих завдань в електричній схемі використано мікропроцесор DD1 типу ATmega8. Тактову частоту 12 МГц для мікропроцесора забезпечує під'єднаний кварцового резонатор ZQ1, під коректувати частоту можна підбором конденсаторів C6 і C7. Для живлення мікропроцесора DD1 служить інтегральний стабілізатор напруги DA4.

Зовнішні елементи під'єднуються до електронного блока керування через з'єднувач X1. Давач температури R1 утворює разом з резистором R2 дільник напруги. Напруга з точки з'єднання R1 та R2 є температурним сигналом, який поступає на вхід операційного підсилювача DA2. Опорна напруга для схеми вимірювання температури створюється інтегральним стабілізатором напруги DA1. За допомогою налаштувального резистора R4 можна калібрувати величину температурного сигналу. Із виводу 1 мікросхеми DA2 підсилений сигнал подається на вхід внутрішнього АЦП мікропроцесора DD1.

Сигнал із давача тиску BP1 поступає безпосередньо на вхід 23 мікропроцесора DD1.

Оброблені сигнали температури і тиску мікропроцесор DD1 перетворює в цифрові коди, які подаються на рідкокристалічний дисплей H1 і висвічуються вже відповідно в градусах і паскалях.

Кроковий двигун M1 керується сигналами від мікропроцесора, але, оскільки порти мікропроцесора видають малий вихідний струм, то для підсилення потужності служить драйвер DA3. Частоту обертання крокового двигуна можна змінювати за допомогою кнопок SB1 та SB2 (більше/менше) і її значення показує дисплей..

## 2.7 Розробка технології проведення досліджень на установці

Для проведення досліджень на установці потрібно виконувати наступні операції.

1) Досліджуваний зразок гірської породи, зокрема сланцю, помістити в камеру високого тиску.

2) З'єднати камеру високого тиску рукавом PVT із манометром МП-600. Також прикрутити датчик температури до камери.

3) Заповнити камеру і систему створення тиску розчином ПАР.

4) Створити в камері тиск 40МПа.

5) Включити кроковий двигун з частотою обертання 2 об/с. Кулачок на валу двигуна буде плавно тиснути на пружину і зменшувати тиск. Внаслідок тиск в системі буде плавно змінюватись в межах від 40МПа до 60 МПа.

6) На рідкокристалічному дисплеї будуть відображатись значення тиску і температури у камері і частот обертання крокового двигуна.

7) При під'єднанні портів, що з'єднані з дисплеєм, до персонального комп'ютера можна записувати вимірювану інформацію і при потребі її обробляти за розробленим за стосунком.

## 3 МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ РОЗРОБЛЕНОЇ УСТАНОВКИ

### 3.1 Невизначеність результату вимірювання

Діапазон розсіювання значень вимірюваної величини характеризується таким параметром як невизначеність вимірювань [22].

Невизначеність вимірювань характеризується кількісно стандартною невизначеністю  $u$ , яка виражається як середнє квадратичне відхилення (СКВ).

У багатьох випадках знаходять розширену невизначеність  $U$ , яка встановлює діапазон в околі результату вимірювань, в якому очікується, значна частина розподілу значень, які можна вважати вимірюваною величиною [23,24].

Визначається розширена невизначеність  $U$  із виразу:

$$U = k \cdot u_c, \quad (3.1)$$

де  $k$  – коефіцієнт охоплення результатів вимірювання.

Будь-яку вимірювану величину  $Y$  як функціональну залежність [23]:

$$Y = f(X_1, \dots, X_m), \quad (3.2)$$

де  $X_1, \dots, X_m$  – вхідні величини, що безпосередньо виміряні;  $m$  – кількість цих величин.

Встановивши систематичні джерела невизначеності, вимірювану величину  $y$  оцінюють як функціональну залежність від безпосередньо виміряних вхідних параметрів  $x_1, \dots, x_m$ :

$$y = f(x_1, \dots, x_m). \quad (3.3)$$

Дальше підраховують стандартні невизначеності вхідних параметрів  $u(x_i)$  ( $i = 1, \dots, m$ ) та коефіцієнти кореляції  $r(x_i, x_j)$  вхідних параметрів.

Існують два підходи підрахунку стандартних невизначеностей:

- тип *A* – підрахунок методом статистичного аналізу отриманих результатів неоднократних вимірювань;
- тип *B* – коли використовуються інші методи.

Проаналізуємо обидва підходи.

1) Визначення стандартної невизначеності  $u_A$  за першим підходом *A*.

Результати неоднократних вимірювань  $x_{i1}, \dots, x_{ini}$ , де  $i = 1, \dots, m$ ;  $n_i$  – число вимірів  $i$ -го вхідного параметру будуть вихідними параметрами даними для підрахунку невизначеності  $u_A$ .

Стандартну невизначеність окремого вимірювання  $i$ -го вхідного параметру  $u_{A,i}$  підраховують за виразом:

$$u_{A,i} = \sqrt{\frac{1}{n_i-1} \sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2}, \quad (3.4)$$

де  $\bar{x}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{q=1}^{n_i} x_{iq}$  – середнє арифметичне значення результатів вимірювання  $i$ -го вхідного параметру.

Стандартну невизначеність  $u_A(x_i)$  вимірювання  $i$ -го вхідного параметру при цьому визначають обчислюють за виразом:

$$u_A(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i-1)} \sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2}. \quad (3.5)$$

2) Підрахунок стандартної невизначеності  $u_B$  за другим підходом *B*.

В ролі вихідних параметрів для підрахунку невизначеності  $u_B$  беруть:

- результати попередніх вимірювань параметрів, які є складниками в рівнянні вимірювання, дані про тип розподілу імовірностей;
- емпіричні відомості, взяті з аналогічних засобів вимірювання;
- невизначеність довідникових відомостей;
- результати перевірки, калібрування, паспортні технічні дані про засоби вимірювання в т. п.

Невизначеність таких результатів звичайно подають як межі відхилення значення параметру від його оцінки.

Найчастіше при цьому приймають рівномірний закон розподілу

можливих значень цього параметру в зазначених межах  $\pm b_i$ .

Коли ж підрахунок проводиться за другим підходом  $B$ , то стандартну невизначеність  $u_B(x_i)$  обчислюють за типом  $B - u_B(x_i)$ , визначають виразом:

$$u_B(x_i) = \frac{b_{i+} - b_{i-}}{2\sqrt{3}}, \quad (3.6)$$

а коли межі  $\pm b_i$  є симетричними, то за виразом:

$$u_B(x_i) = \frac{b_i}{\sqrt{3}}. \quad (3.7)$$

Якщо ж закон розподілу виявиться нерівномірним, то і вирази для підрахунку невизначеності при підході  $B$  стануть іншими.

Для підрахунку коефіцієнта кореляції  $r(x_i, x_j)$  застосовують узгоджені пари результатів вимірювань в  $(x_{il}, x_{jl})$ , де  $l = 1, \dots, n_{ij}$ ;  $n_{ij}$  – кількість узгоджених пар:

$$r(x_i, x_j) = \frac{\sum_{l=1}^{n_{ij}} (x_{il} - \bar{x}_i)(x_{jl} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{l=1}^{n_{ij}} (x_{il} - \bar{x}_i)^2 \sum_{l=1}^{n_{ij}} (x_{jl} - \bar{x}_j)^2}}. \quad (3.8)$$

Сумарну стандартну невизначеність  $u_c$ , якщо оцінки  $x_1, \dots, x_m$  є некорельованими, підраховують за виразом:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{df}{dx_i}\right)^2 u^2(x_i)}. \quad (3.9)$$

Якщо ж оцінки  $x_1, \dots, x_m$  є корельованими, то підраховують за виразом:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{df}{dx_i}\right)^2 u^2(x_i) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{df}{dx_i} \frac{df}{dx_j} r(x_i, x_j) u(x_i) u(x_j)}, \quad (3.10)$$

де  $r(x_i, x_j)$  – коефіцієнт кореляції;  $u(x_i)$  – стандартна невизначеність  $i$ -й вхідного параметру, який визначений за будь-яким підходом.

Взагалі коефіцієнт охоплення  $k$  визначають за виразом:

$$k = t_p(v_{eff}), \quad (3.11)$$

де  $t_p(v_{eff})$  – квантиль розподілу Стюдента коли є ефективна кількість ступенів свободи  $v_{eff}$  з довірчою імовірністю  $p$ .

Ефективну кількість ступенів свободи знаходять за виразом:

$$v_{eff} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^m \frac{u^4(x_i)}{v_i} \left(\frac{df}{dx_i}\right)^4}, \quad (3.12)$$

де  $v_i$  - кількість ступенів свободи при встановленні оцінки  $i$ -го вхідного параметра, при цьому:  $v_i = n_i - 1$  - для підрахунку невизначеності при підході  $A$ ;  $v_i = \infty$  - для підрахунку невизначеності при підході  $B$ .

На практиці часто при встановленні невизначеності результатів вимірювань припускають, що закон розподілу є нормальним і при цьому вважається, що  $k = 2$  при  $p \approx 0,95$  і  $k = 3$  при  $p \approx 0,99$ .

Якщо ж припускають, що закон розподілу є рівномірним, то беруть,  $k = 1,65$  при  $p \approx 0,95$  і  $k = 1,71$  при  $p \approx 0,99$ .

При отриманні результатів вимірювань бажано подавати достатню кількість інформації, щоб можна було при необхідності проаналізувати або провести повторно всі розрахунки невизначеності вимірювання, зокрема:

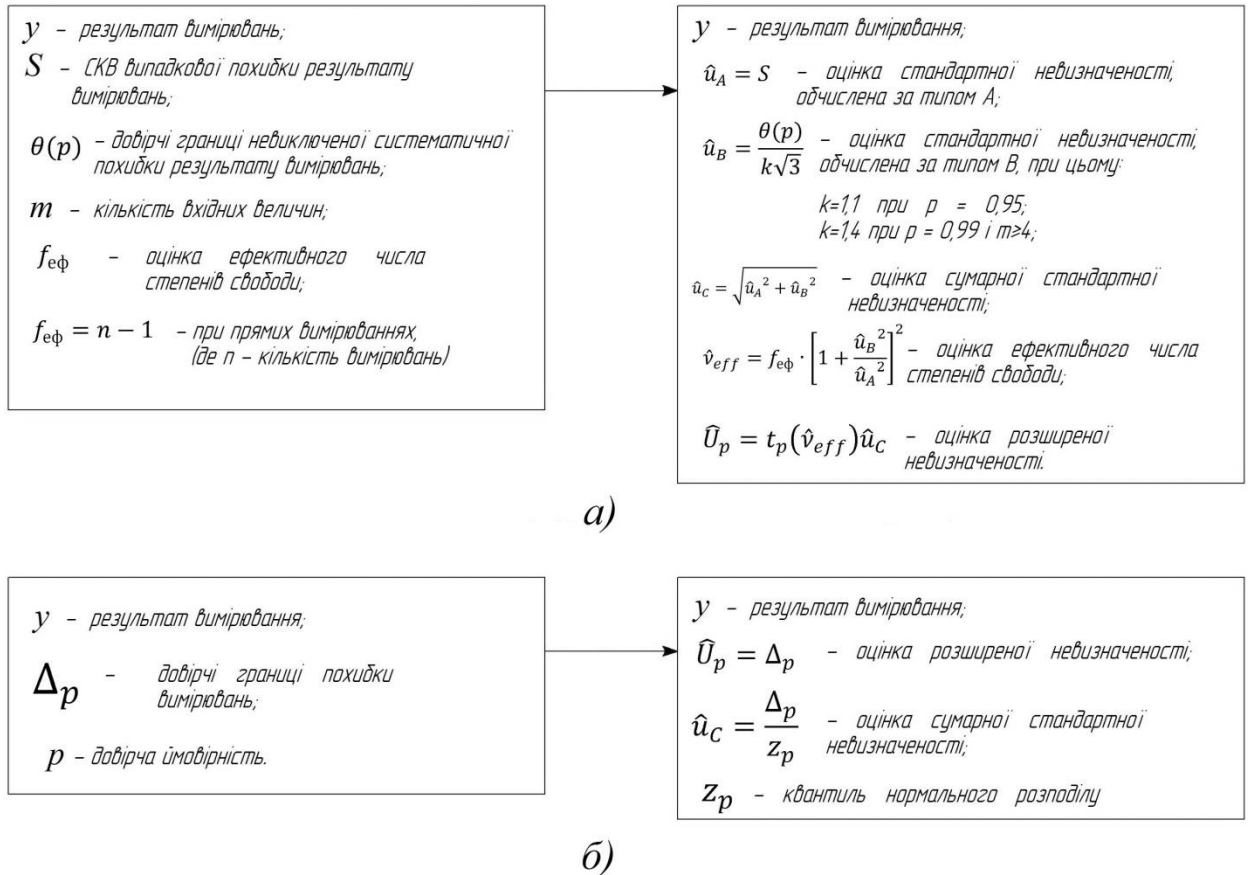
- порядок дій при визначенні результатів вимірювань;
- порядок операцій розрахунку всіх корективів і їх невизначеностей;
- невизначеність всіх результатів вимірювань та методи їх одержання;
- порядок розрахунку сумарної і розширеної невизначеності.

### 3.2 Зіставлення оцінок характеристик похибок і невизначеностей результатів вимірювань

Якщо відсутня достатня інформація для обчислення невизначеності  $u$ , то її оцінка може бути отримана на підставі оцінок характеристик похибки за наведеними нижче схемами (рис. 3.2). Схеми відповідають двом різним способам представлення результатів вимірювань, прийнятим в нормативній документації Державної системи забезпечення єдності вимірювань з метрології.

Наприклад, здійснимо перехід від похибок результатів вимірювань

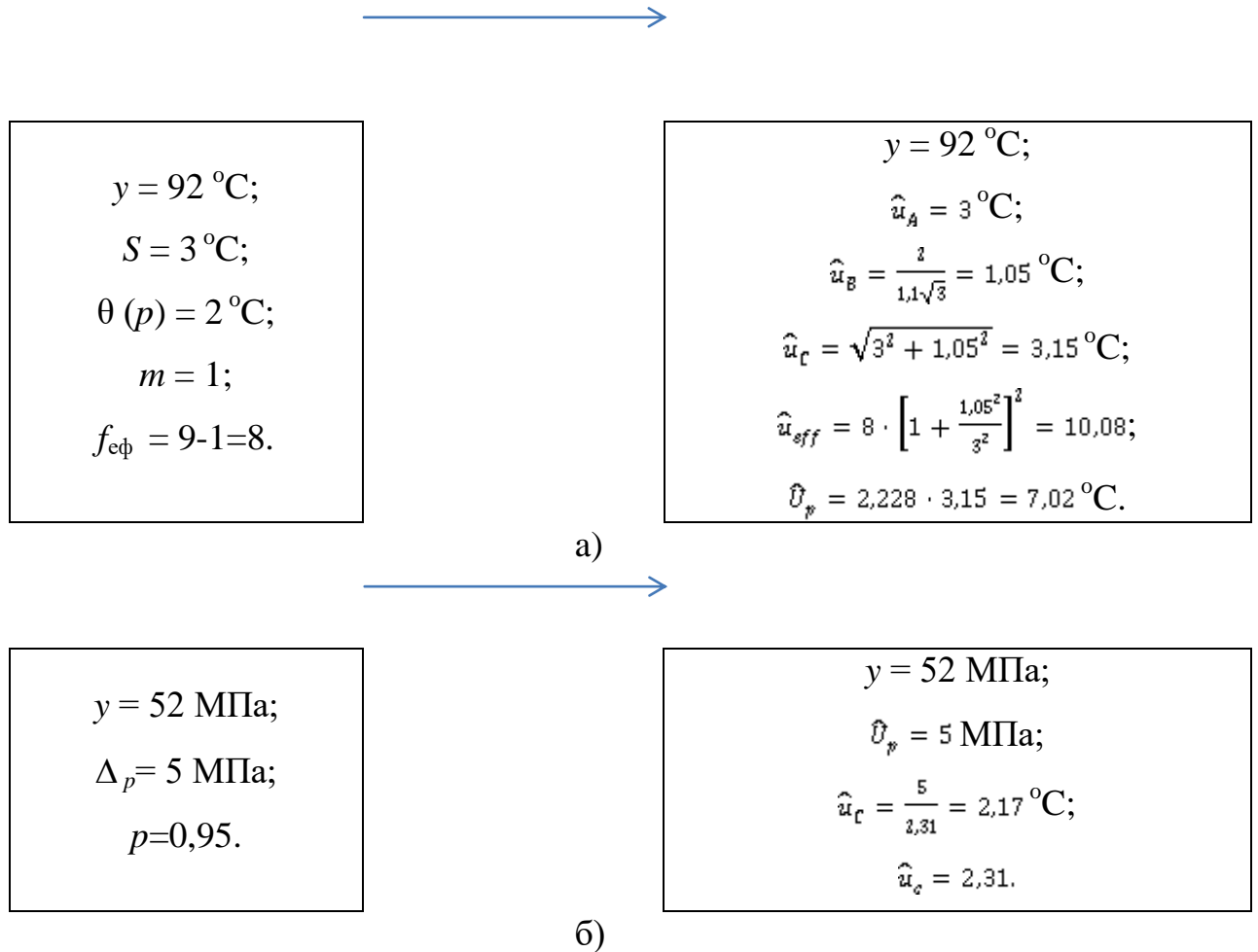
температури робочої рідини до невизначеностей, використовуючи схему 1 (рис. 3.1, а) і перехід від похибок результатів вимірювань тиску в робочій камері до невизначеностей, використовуючи схему 2 (рис. 3.1, б).



а – схема 1; б – схема 2

Рисунок 3.1 – Схеми переходу від похибок до невизначеностей результатів вимірювань

Результати приведені на рис. 3.2.



а) схема 1; б) схема 2

Рисунок 3.2 – Результати переходу від похибок до невизначеностей результатів вимірювань температури робочої рідини (схема 1) та тиску в робочій камері (схема 2)

## ВИСНОВКИ

Результат виконання магістерської роботи наступний:

- 1) Здійснено аналіз відомих методів, приладів та установок для дослідження фізико-механічних параметрів гірських порід.
- 2) Розроблено лабораторну установку для дослідження впливу поверхнево-активних речовин на фізико-механічні параметри сланцевих порід. Розроблено функціональну схему установки, складальне креслення камери високого тиску, описано систему створення тиску та розраховано систему зміни тиску, розроблено електричну схему блоку керування та обробки даних.
- 3) Описано методику оцінювання характеристик невизначеності результатів вимірювання параметрів у розробленій установці.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Смирнов В.О. Фізичні та хімічні основи виробництва [Текст]: Навчальний посібник. / В.О. Смирнов, В.С. Білецький – Донецьк: Східний видавничий дім, 2005. – 148 с. – ISBN 966-7804-90-9.
2. Петрофізика : навч. посіб. / І. М. Безродна, А. П. Гожик. – К. : ВПЦ "Київський університет", 2018. - 256 с. 257 сторінок
3. Матеріалознавство : навч. посіб. / В.І. Бузило, В.П. Сердюк, М 34 А.В. Яворський, О.А. Гайдай / М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка» – Дніпро : НТУ «ДП», 2021. – 243 с .
4. Фізико-механічні властивості гірських порід. Навчальний посібник.  
[https://trrkk.nmu.org.ua/ua/peda\\_job/gstb/%D0%93%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%B0%20%20%D0%93%D0%A0%D0%94%20%D0%B8%20%D0%A2%D0%91%20\(%D1%83%D0%BA%D1%80\).pdf](https://trrkk.nmu.org.ua/ua/peda_job/gstb/%D0%93%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%B0%20%20%D0%93%D0%A0%D0%94%20%D0%B8%20%D0%A2%D0%91%20(%D1%83%D0%BA%D1%80).pdf)
5. Навчальний посібник з петрографії для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня “Бакалавр”. – ІФНТУНГ, 1999. – 50 с. Горванко Г.Д
6. Винников Ю.Л. Основи буріння свердловин: конспект лекцій для студентів спеціальності 103 Науки про Землю. Ступінь вищої освіти – бакалавр. – Полтава: Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2021 – 120 с.
7. Степанюк В.П. "Фізичні властивості гірських порід", Навчальний посібник, Івано-Франківськ: Факел, 2002 с.
8. Маланчук З.Р., Козяр В.О., Поліщук А.М. Механіка гірських порід. Навчальний посібник. –Рівне: НУВГП, 2016.-188 с.

9. Мощенок, В. І. Методи визначення твердості матеріалів / В. І. Мощенок, Н. О. Лалазарова, В. В. Мощенок. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2024. – Кн. 1 : Макродіапазон : лабораторні роботи. – 148 с.

10. Паранько І. С., Калініченко О. О. Методичний посібник для виконання лабораторних робіт з курсу “Геологія” / . Кривий Ріг: Видавничий дім, 2009. - 83 с.

11. Поліщук Є.С. Методи та засоби вимірювань неелектричних величин: підручник для студ. вищих закладів освіти спец. «Метрологія та вимірювальна техніка» / Є.С. Поліщук; Державний ун-т «Львівська політехніка». – Л.: Вид-во Держ. ун-ту «Львівська політехніка», 2000. – 360 с. – ISBN 0368-6418.

12. Інтернет-джерело: <http://temperatures.ru/>

13. Інтернет-джерело: <http://www.freepatent.ru/patents/2301982>

14. Федішин В.О. Низькопористі породи – колектори газу промислового значення [Текст]: монографія / В.О. Федішин – К.: УкрДГРІ, 2005. – 148с.

15. Використання поверхнево-активних речовин в процесах нафтовидобутку на родовищах ВАТ "Укрнафта". Монографія. Михайлюк В.Д., Рудий М.І., Боднар Р.Т. та інші. – НДПІ ВАТ "Укрнафта", ПП "Галицька друкарня ПЛЮС", 2009 р.–400 с.

16. ДСТУ 4003-2000. Посудини та апарати. Вибір параметрів зміцнювального оброблення

17. Інтернет-джерело: <http://ingehim.ru/uslugi/calculations/prochn/>

18. ДСТУ EN 1092-2:2010 Фланці і їх з'єднання. Круглі фланці для труб, клапанів, з'єднувальної арматури та допоміжних деталей із вказаним номінальним тиском PN.

19. Інтернет-джерело: [http://hydrohose.com.ua/g6307-shlangi-rukava-vysokogo/page\\_2](http://hydrohose.com.ua/g6307-shlangi-rukava-vysokogo/page_2).

20. Технічні засоби автоматизації : підручник / І. Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, О. І. Филипченко та ін. – Кривий Ріг : Криворізький коледж НАУ, 2019 р. – 366 с.
21. Федорченко А.М. Теоретична механіка [Текст] / А.М. Федорченко – Київ: Вища школа, 1975. – 516с.
22. ДСТУ 2709-94 Державна система забезпечення єдності вимірювань. Автоматизовані системи керування технологічними процесами. Метрологічне забезпечення. Основні положення
23. Володарський Є.Т., Кухарчук В.В., Поджаренко В.О., Сердюк Г.Б. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю. Навчальний посібник. -Вінниця: ВДТУ, 2001. –219с.
- 24 Актуальні проблеми метрологічного забезпечення : навчальний посібник / О. М. Васілевський, В. О. Поджаренко. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 214 с. ISBN 978-9

## ДОДАТКИ

## ДОДАТОК А

### Прилади для вимірювання тиску

Таблиця А.1 – Класифікація тривкості гірських порід

Категорія	Ступінь тривкості породи	Породи	$K_{тр}$
<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
I	Найвищий	Кварцити, базальти та інші винятково міцні породи	20
II	Дуже тривкі породи	Граніт, кварцові порфіри, кременистий сланець, пісковики та вапняки підвищеної міцності, деякі кварцити	15
III	Тривкі породи	Граніти та гранітні породи, пісковики і вапняки, міцні мінерали залізних руд	10
III-a	Тривкі породи	Вапняки, деякі граніти (неміцні), пісковики, мрамур, доломіт, колчедани	8
IV	Досить тривкі породи	Звичайний пісковик, залізисті руди	6
IV-a	Досить тривкі породи	Піскуваті сланці, сланцеві пісковики	5

## Продовження таблиці А.1

1	2	3	4
V	Породи середньої тривкості	Міцний глинистий сланець, неміцні різновиди пісковика і вапняку, м'який конгломерат	4
V-a	Породи середньої тривкості	Різноманітні неміцні сланці, щільний мергель	3
VI	Досить м'які породи	М'який сланець, дуже м'який вапняк, крейда, кам'яна сіль, гіпс, мерзлий ґрунт, антрацит, звичайний мергель, зруйнований пісковик, кам'янистий ґрунт	2
VI-a	Досить м'які породи	Щебенистий ґрунт, зруйнований сланець, злежалі галька та щебінь, тверде кам'яне вугілля, затверділа глина	1,5
VII	М'які породи	Глина (щільна), м'яке кам'яне вугілля, міцні наноси	1,0
VII-a	М'які породи	Легка піскова глина, лес, гравій	0,8
VIII	Землянисті породи	Чорнозем, торф, легкий суглинок, сирий пісок	0,6
IX	Сипучі породи	Пісок, осипи, дрібний гравій, насипна земля, видобуте вугілля	0,5
X	Пливкі породи	Пливуни, болотистий ґрунт, розріджений лес, розріджено-зволожений ґрунт	0,3

Прилади для вимірювання тиску



Рисунок А.1 – Перетворювачі тиску APLISENS PC-28 типу PD, PZ,PK



Рисунок А.2 – Давач надлишкового тиску 415-ДИ

Продовження додатку А  
Прилади для вимірювання тиску



Рисунок А.3 – Високоточний давач надлишкового/абсолютного тиску  
DMP 333i

Додаток Б  
Прилади для вимірювання температури



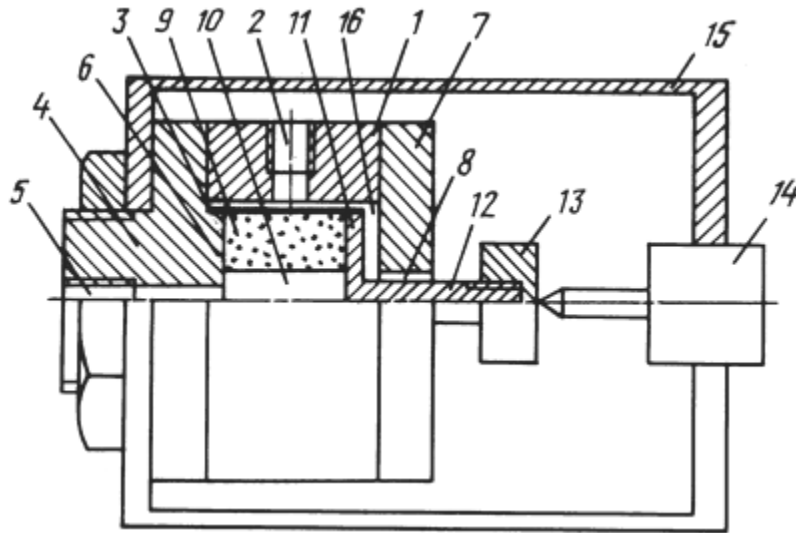
Рисунок Б.1 – Давач температури з вбудованим перетворювачем МВТ  
3560



Рисунок Б.2 – Перетворювач температури ПТІ-02

## Додаток В

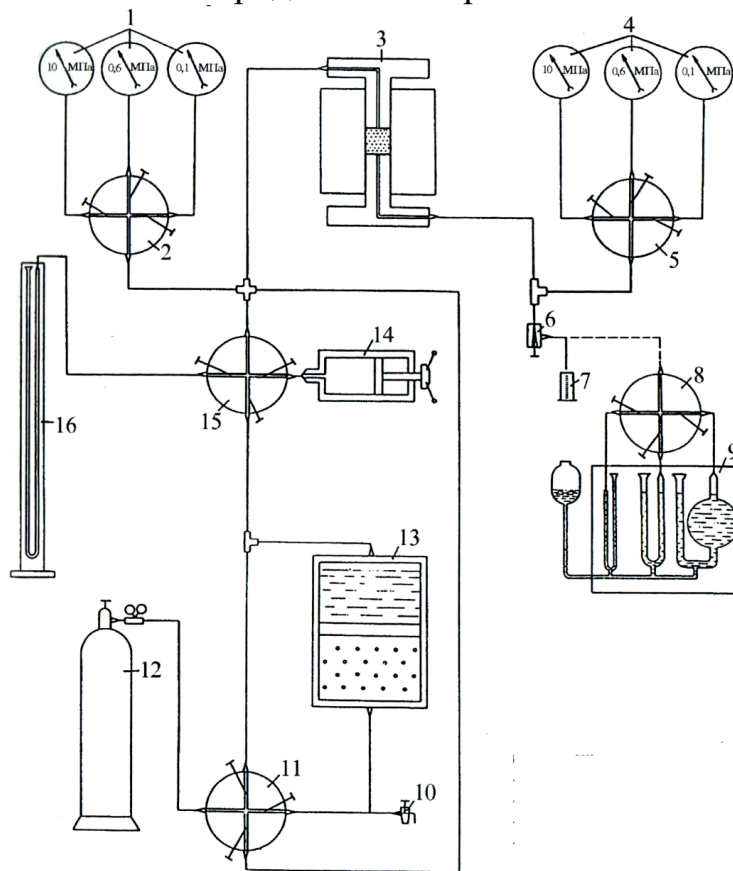
### Установка для дослідження гірських порід



- 1 – корпус; 2 – отвір для під'єднання штуцера; 3 – кільцева оболонка з еластичного матеріалу; 4 – фланець; 5 – осьовий отвір фланця;  
6 – циліндричний виступ; 7 – кришка; 8 - осьовий отвір кришки;  
9 – кільцевий зразок; 10 - осьовий отвір зразка; 11 – вкладиш, виконаний у вигляді диска; 12 – хвостовик; 13 – упор; 14 – вимірювач переміщень;  
15 – рама; 16 – герметична порожнина

Рисунок В.1 – Установка для вивчення фізико-механічних властивостей зразків гірських порід

**Додаток Г**  
**Апаратура для вивчення особливостей фільтрації флюїдів у низькопроникних породах-колекторах**



- 1 – блок вхідних манометрів 2, 5, 8, 11, 15 – манофільди; 3 – кернава камера;  
 4 – блок вихідних манометрів;  
 6 – вентиль регулювання тиску; 7, 9 – вимірні пристрої відповідно для  
 рідини й газу; 10 – кран випуску газу; 12 – балон газовий; 13 – розділювач; 14 –  
 прес; 16 - дифманометр

Рисунок Г.1 – Схема апаратури для вивчення особливостей фільтрації  
 флюїдів у низькопроникних породах-колекторах

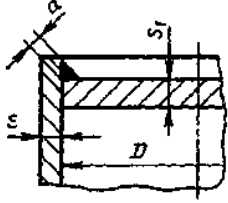
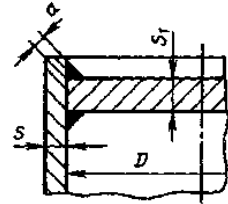
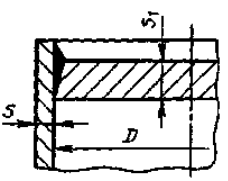
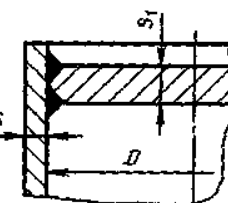
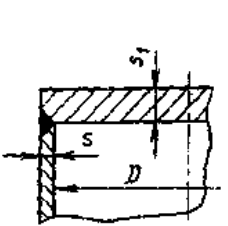
## Додаток Д

### Таблиця Д.1 – Параметри фланців типу 2 (згідно рис.2.4)

Умовний прохід $D_y$	Діаметр прохідного отвору $d$ , не більше	Зовнішній діаметр $D$	Ділячий діаметр центрів отворів під шпильки $D_1$	Діаметр проточки на привалочному торці $D_2$	Зовнішній діаметр канавки під прокладку $D_3$	Великий діаметр шийки $D_4$	Малий діаметр шийки $D_5$ , не менше	Діаметр отворів під шпильки $d_1$	Кількість отворів під шпильки $n$	Висота конусокої частини шийки $H$	Повна висота тарілки $h$	Ширина канавки $b$	Глибина канавки $f$	Склад
Позначення прокладок														
$P_p$ 14 МПа														
80	680	1040	952,5	805	768,3	836	743	48	20	185	126	22,9	21,5	БХ
$P_p$ 21 МПа														
80	680	1102	1000,0	832	774,2	870	776	56	24	185	161	25,9	21,5	БХ
$P_p$ 35 МПа														
50	346	675	590,5	457	408,0	480	424	45	16	115	113	20,0	14,3	БХ
25	425	772	676,5	535	478,3	556	527	51	16	76	130	17,9	8,3	БХ
80	477	904	803,1	627	563,5	675	598	56	20	152	166	25,6	18,3	БХ
40	540	990	885,8	702	632,0	759	680	56	24	165	181	27,2	19,2	БХ
$P_p$ 70 МПа														
50	52	200	158,5	110	86,2	100	75	23	8	52	44	12,6	6,0	БХ
55	65	230	184,0	140	102,8	121	92	25	8	57	51	14,1	6,8	БХ
30	78	270	216,0	155	119,0	142	110	28	8	64	58	15,4	7,5	БХ
00	103	315	258,5	185	150,6	183	146	32	8	73	70	17,7	8,3	БХ
80	180	480	403,0	300	241,8	302	254	42	12	95	103	23,4	11,1	БХ
30	230	550	476,0	360	299,1	375	327	42	16	94	124	26,4	12,7	БХ
80	280	655	565,0	430	357,2	450	400	48	16	103	141	29,2	14,3	БХ
50	346	768	763,0	520	432,6	553	495	52	20	114	168	32,5	15,9	БХ
25	425	872	776,3	576	478,3	656	602	52	24	76	168	17,9	8,3	БХ
80	477	1040	925,6	697	577,9	752	675	59	24	156	223	32,8	18,3	БХ
40	540	1145	1022,4	781	647,9	848	762	67	24	165	241	34,9	19,2	БХ

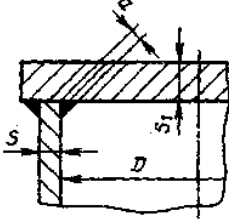
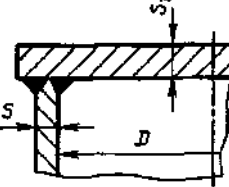
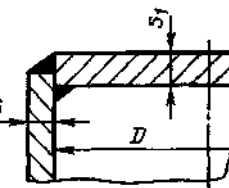
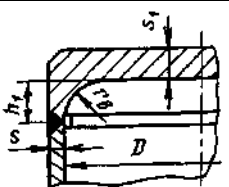
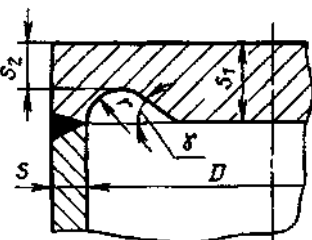
Додаток Е

Таблиця Е.1 – Умови закріплення днищ і кришок

Тип	Закріплення	Умови закріплення днищ і кришок	K
1	2	3	4
1		$a \geq 1,7 \cdot s$ $D_p = D$	0,53
2		$a \geq 0,85 \cdot s$ $D_p = D$	0,50
3		$\frac{s-c}{s_1-c} < 0,25$ $\frac{s-c}{s_1-c} \geq 0,25$ $D_p = D$	0,45 0,41
4		$\frac{s-c}{s_1-c} < 0,5$ $\frac{s-c}{s_1-c} \geq 0,5$ $D_p = D$	0,41 0,38
5		$\frac{s-c}{s_1-c} < 0,25$ $\frac{s-c}{s_1-c} \geq 0,25$ $D_p = D$	0,45 0,41

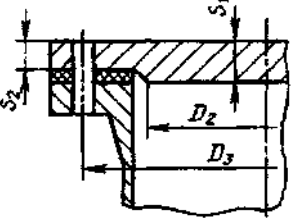
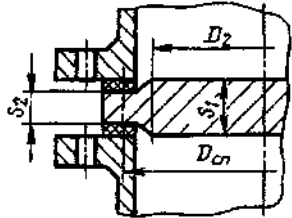
Продовження додатку Е

Продовження таблиці Е.1

1	2	3	4
6		$a > 0,85 \cdot s$ $D_p = D$	0,50
7		$\frac{s-c}{s_1-c} < 0,5$ $\frac{s-c}{s_1-c} \geq 0,5$ $D_p = D$	0,41 0,38
8		$\frac{s-c}{s_1-c} < 0,5$ $\frac{s-c}{s_1-c} \geq 0,5$ $D_p = D$	0,41 0,38
9		$\max \{s; 0,25 \cdot s_1\} \leq r \leq \min \{s_1; 0,1D\}$ $h_f \geq r$ $D_p = D - 2r$	$K = \max \left\{ 0,41 \times \left( 1 - 0,23 \frac{s-c}{s_1-c} \right); 0,35 \right\}$
10		$\frac{s-c}{s_1-c} < 0,5$ $\frac{s-c}{s_1-c} \geq 0,5$ $D_p = D$ $0,25 \cdot s_1 \leq r \leq s_1 - s_2$ $30^\circ \leq \gamma \leq 90^\circ$	0,41 0,38

Продовження додатку Е

Продовження таблиці Е.1

1	2	3	4
11		$D_p = D_3$	0,40
12		$D_p = D_{c.п}$	0,41

Додаток Є  
Розгортка гвинтової пружини

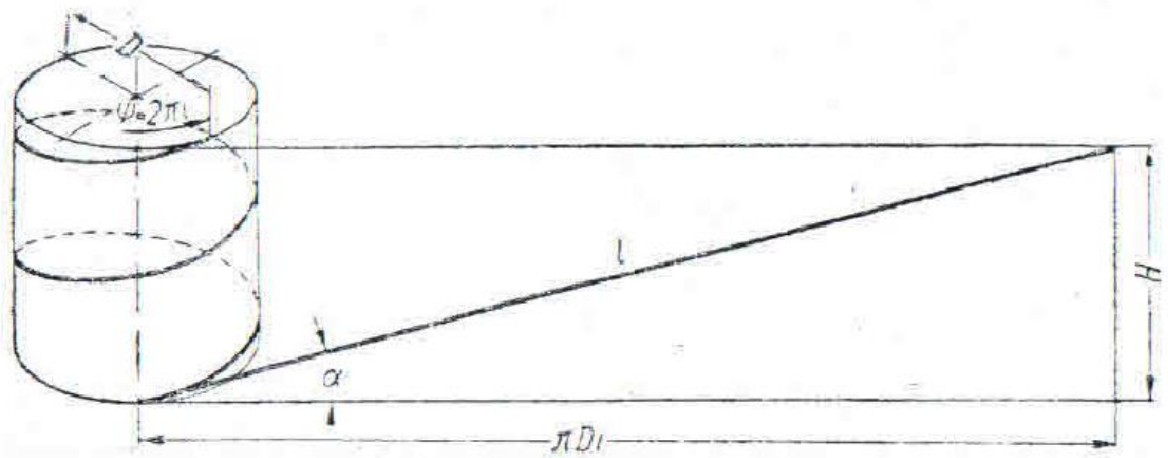


Рисунок Є.1 – Розгортка гвинтової пружини на площину



### Додаток 3

#### Давач тиску і температури



Рисунок 3.1 – Компактний перетворювач тиску Danfoss MBS 3000



Рисунок 3.2 – Термометр TF 35

Формат Зона Лист		Обозначение	Наименование	Кол	Примечание	
<i>Документація</i>						
A1		MP.MTTM-18.01.01.000 СК	Складальне креслення	1		
<i>Деталі</i>						
A3	1	MP.MTTM-18.01.01.001	Корпус	1		
A4	2	MP.MTTM-18.01.01.002	Кришка	2		
A4	3	MP.MTTM-18.01.01.003	Прокладка	2		
<i>Стандартні вироби</i>						
	6		Гайка 27 ГОСТ 15523-70	32		
	7		Шпилька М27×120 ГОСТ 22034-76	16		
MP.MTTM-18.01.01.000						
Изм. Лист		№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб. Гцицл					Лит.	
Проб. Витвицька					Лист	
					Листов	
					1	
Н.контр.					ІФНТУНГ	
Утв. Середюк						
			Камера високого тиску			
			Копіював			
			Формат А4			