

Міністерство освіти і науки України

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

## **ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ**

**з курсу**  
**«ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПІДЗЕМНИЙ РЕМОНТ**  
**СВЕРДЛОВИН»**

для студентів спеціальності  
185 Нафтогазова інженерія та технології

*Під редакцією доктора технічних наук,  
професора І.М. Фика*

Харків  
ХНАДУ  
2020

УДК 622.279.7

П 75

*Рекомендовано вченою радою Навчально-наукового інституту хімічних технологій та інженерії НТУ «Харківський політехнічний інститут як розрахунковий практикум для студентів другого освітнього кваліфікаційного рівня «магістр» за спеціальністю 185 «Нафтогазова інженерія та технології»»  
Протокол №7 від 28.05.2020*

Рецензенти:

Галко Т.Н., д-р геол.наук, УкрНДІгаз  
Добровольський І.В., канд.тех.наук, ПрАТ «Укргазвидобуток»

Авторський колектив:

Римчук Д.В., канд.тех.наук, доцент кафедри ВНГіК;  
Бурова М.Я., старш.викладач кафедри ВНГіК;  
Тищенко О.В. науковий співробітник відділу інтенсифікації видобутку вуглеводнів УкрНДІгазу;  
Куш А.І., аспірант кафедри ВНГіК;  
Пономаренко В.В., аспірант кафедри ВНГіК.

**Римчук Д.В.**

П 75      Лабораторний практикум з курсу «Дослідження та підземний ремонт свердловин» для студентів спеціальності 185 Нафтогазова інженерія та технології / Д.В.Римчук, М.Я.Бурова, А.І. Куш, О.В.Тищенко., Пономаренко В.В.- Х.: НТУ «ХПІ», 2020 – 52 с.

Лабораторний практикум складається з двох комплектів лабораторних робіт з тестування матеріалів для проведення гідрозриву в свердловині. Практикум регламентує порядок тестування гелю та пропантів, що використовується при гідророзриві пласта. Призначений для студентів 5 курсу навчання, рівня «магістр», спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології» .

УДК 622.279.7

П 75

©Колектив авторів, 2020  
©НТУ «ХПІ», 2020

## ВСТУП

Поряд з бурінням нових свердловин наростити видобуток нафти і газу можна також шляхом інтенсифікації робіт на діючих свердловинах. Одним з найбільш ефективних способів інтенсифікації є гідророзрив пласта. Для проведення цієї технологічної операції необхідні якісні матеріали, які б не закальмотували канали та утримували тріщину у розкритому стані. Для контролю якості матеріалів, що використовуються для гідророзриву та відповідності їх документів необхідно проводити лабораторне дослідження та підтвердження їх якості.

Лабораторний практикум складається з двох комплектів лабораторних робіт з тестування матеріалів для проведення гідрозриву в свердловині. Практикум регламентує порядок тестування гелю та пропантів, що використовується при гідророзриві пласта. Призначений для студентів 5 курсу навчання, рівня «магістр», спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології» .

У лабораторному практикумі наведено методики проведення лабораторних робіт для визначення якості гелю та пропантів, які здійснюються в лабораторії, оснащення якої відповідає вимогам американського інституту АНІ.

Автори висловлюють щире подяку генеральному директору Бурової Компанії «Горизонти» Козицькому Степану Зіновійовичу та начальнику відділу колтубінгових технологій Кравчуку Сергію Івановичу за допомогу у виданні практикуму. Бурова компанія «Горизонти» є надійним партнером освітніх закладів та нафтогазовидобувних підприємств; у своїй виробничій діяльності використовує досягнення сучасної науки та техніки.

Автори будуть вдячні всім читачам за поради, критичні зауваження та пропозиції щодо змісту лабораторного практикуму, котрі просимо надсилати на електронну адресу Анастії Ігорівни Куш: [anastasia.kushch@ukr.net](mailto:anastasia.kushch@ukr.net)

## ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РОБОТИ

1. Всі операції, пов'язані із застосуванням або можливим утворенням і виділенням отруйних, їдких, вибухонебезпечних речовин або речовин, які мають запах, виконувати тільки у витяжній шафі при працюючій загальнообмінній вентиляції із застосуванням засобів індивідуального захисту.

2. Для нагрівання легкозаймистих та горючих рідин не використовувати відкрите полум'я.

3. Змішування або розведення хімічних речовин, що супроводжується виділенням тепла, слід виконувати в термостійкому або порцеляновому посуді.

4. При нагріванні рідини у пробірці необхідно спрямовувати її убік від себе і осіб, які знаходяться поруч.

5. При збовтуванні розчину у колбах і пробірках закривати їх тільки пробками.

6. Не здійснювати відбір порцій речовин безпосередньо з великих бутлів, бочок.

7. Працівник повинен:

- не залишати запалені пальники та інші нагрівальні прилади без нагляду;

- не зберігати будь-які речовини невідомого походження без напису і етикеток;

- зливати відпрацьовані ефір, бензол та інші горючі рідини (ГР), відходи кислот і луги тільки у спеціальну тару.

8. Вимоги безпеки при роботі із складським лабораторним посудом та іншими виробами зі скла:

- під час роботи на установці, виготовленій зі скла або з елементами зі скла, в умовах, коли є хоч невелика ймовірність аварії, необхідно обгородити всю установку захисним екраном із оргскла, а найнебезпечніші ділянки установки - металевою сіткою або металевим кожухом;

- під час збирання скляних приладів застосовувати підвищені зусилля не дозволяється. При з'єднанні окремих частин зі скла необхідно захищати руки тканиною. Щоб полегшити збирання приладів, кінці скляних трубочок змочують водою, вазеліном або гліцерином;

- усі види механічної і термічної обробки скла слід виконувати з використанням захисних окулярів;

- щоб обрізати кусок скляної трубки або палички, необхідно зробити на ній надріз напилком або іншим інструментом, який ріже скло, після чого взяти трубку обома руками і легким натиском у напрямі, протилежному надрізу, зламати її. Після розлому гострі кінці слід оплавити або обробити наждачним папером;

- якщо хімічні реактиви надійшли в ампулах, необхідно обережно зробити надріз, як у випадку зі скляною паличкою, відламати шийку ампули, тримаючи ампулу над лотком або іншою посудиною. Потім обережно пересипати або перелити вміст ампули у заздалегідь заготовлену склянку;

- кінці скляних трубок і паличок, що застосовують для розмішування та іншої мети, мають бути оплавлені;

- для змішування або розведення речовин, що супроводжується виділенням теплоти, а також для нагрівання хімічних речовин слід використовувати порцеляновий або тонкостінний скляний посуд. Пробірки, круглодонні колби, порцелянові чашки можна нагрівати на відкритому вогні, плоскодонні колби і стакани слід нагрівати тільки на металевому розсікачі полум'я;

- посудину з гарячою рідиною не можна закривати, поки вона не охолоне;

- щоб відкрити пробку в посудині, яку заїло, необхідно спочатку обережно постукати по обводу пробки знизу доверху дерев'яним молоточком або брусочком. Якщо це не допомагає, потрібно обережно підігріти шийку посудини так, щоб не нагрілась уся пробка. Нагрівати можна рушником, змоченим гарячою водою, обгорнувши ним шийку посудини, або полум'ям спиртового пальника, обертаючи посудину навколо осі, не торкаючись до полум'я. Не можна нагрівати посудину над відкритим полум'ям, якщо в посудині містяться легкозаймісті, вибухонебезпечні або отруйні речовини;

- великі хімічні стакани слід піднімати двома руками так, щоб відігнуті краї (бортики) спиралися на вказівний та великий пальці;

- установку або окремі її частини, що перебувають під вакуумом, слід захищати дротяним екраном (сіткою); під час роботи користуватися захисними окулярами;

- посудини зі скла, призначені для роботи під вакуумом, заздалегідь випробують на максимальне розрідження. Перед випробуванням посудину потрібно обгорнути рушником або натягти на неї металеву сітку. Такі самі заходи безпеки застосовують під час

проведення фільтрування під розрідженням. Застосовувати плоскодонний посуд (перегінну колбу, приймач) у вакуумних установках і приладах не дозволяється.

- тонкостінну посудину під час закривання гумовою пробкою тримають за верхню частину шийки, пробку злегка повертають, руки при цьому захищають рушником. Роботу з отруйними, вогне- і вибухонебезпечними речовинами, а також роботи, що проводяться під тиском або вакуумом, слід виконувати у приладах і посуді з високоякісного, термостійкого скла;

- нагріваючи рідину в пробірці або колбі, необхідно закріплювати її так, щоб отвір пробки або шийка колби були спрямовані у напрямі від себе і сусідів по роботі; при цьому посуд наповнюють рідиною не більше, ніж на третину об'єму. Протягом усього процесу нагрівання не дозволяється нахилитися над посудиною і заглядати в неї;

- при нагріванні хімічних речовин у пробірці або колбі не дозволяється тримати їх руками, треба закріплювати в тримачі для пробірок або в лапці штатива (затиск повинен бути біля отвору пробірки);

- під час миття скляного посуду треба пам'ятати, що скло крихке, легко ламається і тріскається від ударів, різкої зміни температури. Для миття посуду щітками (йоржами) дозволяється спрямувати дно посудини тільки від себе або вниз.

9. Вимоги безпеки при роботі з легкозаймистими (ЛЗР) та горючими речовинами (ГР):

- роботи з ЛЗР та ГР повинні виконуватись тільки у витяжній шафі, пристосованій для цієї роботи, у невеликих кількостях, при працюючій загальнообмінній вентиляції, вимкнених електроприладах і газових пальниках;

- нагрівання і розгонку невеликих кількостей горючих рідин повинні виконувати тільки на водяній бані і закритих електроплитах;

- ЛЗР і ГР слід переносити у щільно закритому посуді, розміщеному у спеціальному металевому ящику з ручками;

- зберігати ЛЗР і ГР слід у закритому товстостінному скляному посуді, поміщеному у металеві ящики з кришками, стінки і дно яких повинні бути вистелені негорючим матеріалом. Загальний запас ЛЗР, що зберігається, водночас не повинен перевищувати добову потребу;

- розлиті ЛЗР необхідно засипати піском. Забруднений пісок необхідно збирати тільки дерев'яною лопатою або совком;

- нагрівання ЛЗР і ГР проводити тільки у кількості 0,2 - 0,5 л, при цьому необхідно під нагрівальний прилад ставити кювету;

- нагрівання ЛЗР можна виконувати тільки у приладах, що забезпечують повну конденсацію пари, що утворюється;

- посудини, в яких виконувались роботи з ЛЗР і ГР, після проведення роботи повинні негайно промиватись гарячою водою.

10. Вимоги безпеки при роботі з їдкими та отруйними речовинами.

- луги, кислоти та інші їдкі й отруйні речовини необхідно набирати у піпетку тільки за допомогою гумової груші, неприпустимо засмоктувати їдкі й отруйні рідини у піпетку ротом;

- всі роботи з кислотами, лугами та іншими їдкими й отруйними речовинами необхідно виконувати у гумових рукавичках і фартуху, захисних окулярах;

- бутлі з кислотами слід утримувати в захисній металевій тарі, вистеленій негорючим матеріалом, переносити і піднімати тільки удвох;

- переливання кислот і лугів з бутлів у більш дрібну тару також необхідно виконувати удвох за допомогою сифона і тільки під місцевою витяжною вентиляцією;

- для приготування розчинів кислот кислоти необхідно доливати у воду тонкою цівкою при безперервному перемішуванні, а не навпаки;

- великі шматки їдкового лугу треба розколювати на дрібні шматочки у спеціально відведеному місці, заздалегідь накривши шматки, що розбиваються, щільною тканиною (бельтингом) або папером.

Рекомендується замість монолітних шматків лугу застосовувати лускоподібні.

Розчиняти твердий луг слід шляхом повільного додавання його невеликими шматками до води при безперервному перемішуванні. Шматочки лугу брати тільки щипцями.

11. Вимоги безпеки при роботі з вакуумними системами

- будь-які роботи з використанням вакууму слід проводити у захисних окулярах або масці;

- уся вакуумна установка або окремі її частини, які становлять найбільшу небезпеку при вибуху (скляні місткості великого об'єму), повинні бути екрановані дротовою сіткою або органічним склом;

- за необхідності нагрівання або сильного охолодження частин установки слід спочатку створити необхідне розрядження і тільки після цього розпочати обережне нагрівання або охолодження;

- **ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ** обігрівати скляні деталі працюючої вакуумної установки відкритим полум'ям, а також використовувати для їх охолодження рідкий кисень, азот та інші низькотемпературні рідини, тому що це призведе до їх руйнування;

- перегінна колба і приймальна посудина повинні бути тільки круглodonними.

12. Роботи в лабораторії повинні проводитись тільки на справному електрообладнанні. При виявленні дефектів в ізоляції приводів, несправності рубильників, штепселів, розеток, вилок та іншої апаратури слід негайно повідомити чергового електрика.

13. Треба використовувати тільки переносні лампи з напругою 36 В у сухих приміщеннях і 12 В у приміщеннях з підвищеною небезпекою ураження електрострумом.

14. У випадках припинення подачі електроенергії всі електроприлади повинні бути відключені.

15. Вимоги безпеки під час роботи у витяжній шафі

- витяжну шафу вмикають не пізніше, ніж за 15 хв. до початку роботи;

- стулки витяжної шафи під час роботи мають бути максимально закритими з невеликим зазором для тяги. Відкривати їх дозволяється тільки на час використання установлених у шафі приладів або в разі іншої потреби на висоту, зручну для роботи, але не більше як половина висоти отвору;

- підняту стулку на час роботи у витяжній шафі закріплюють за допомогою наявних для цього пристроїв;

- якщо витяжна шафа має кілька стулочок, то ті, якими не користуються, повинні бути закриті. У разі порушення цього правила знижується ефективність вентиляції;

- щоб запобігти проникненню шкідливих газів і пари з витяжної шафи до приміщення, вентиляцію треба відрегулювати так, щоб у шафі утворювалося невелике розрідження.

16. В аналітичній лабораторії загальний запас легкозаймистих рідин, що водночас зберігається, не повинен перевищувати добової потреби.

Спільне зберігання реактивів здійснювати тільки відповідно до правил пожежної безпеки.

17. Всі роботи, пов'язані з можливістю виділення вибухонебезпечних парів і газів, повинні проводитись у витяжних шафах і при працюючій припливно-витяжній вентиляції.

18. В аналітичній лабораторії не допускається обробка підлог і столів газом, бензином та іншими органічними розчинниками, для цієї мети повинні використовуватись пожежонебезпечні синтетичні миючі засоби.

19. Не допускається залишати на робочому місці промаслені ганчір'я, папір, бо може відбутися їх самозаймання. Промаслене ганчір'я і папір потрібно збирати у металеві ящики із щільно закритими кришками і виносити в кінці робочого дня у спеціально відведене місце за межі лабораторії.

20. Сушити спецодяг, хімічні реактиви та інші горючі матеріали треба тільки у спеціальному обладнанні.

21. Перевіряти наявність витоку газу необхідно тільки мильною емульсією.

22. Паління дозволяється тільки у спеціально відведених місцях.

23. При виявленні під час роботи несправностей на робочому місці, в обладнанні та засобах колективного захисту зупинити роботу, вимкнути обладнання, прилади. Повідомити про це керівника робіт і без його вказівки роботу не відновлювати.

## **ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ**

1. Вимкнути обладнання, газові пальники, електроприлади, закрити газ, воду, вимкнути електроенергію.

2. Хімікати, реактиви та інші речовини і матеріали покласти у відведене для них місце.

3. Прибрати робоче місце.

4. Спецодяг та засоби індивідуального захисту покласти у відведене для них місце.

145. Помити руки, обличчя теплою водою з милом, при можливості прийняти душ.

6. Доповісти керівнику робіт про всі недоліки, які мали місце під час роботи.

## ВИМОГИ БЕЗПЕКИ В АВАРІЙНІЙ СИТУАЦІЇ

До аварійних ситуацій відносяться:

- розгерметизація технологічних трубопроводів, обладнання та тари з викидом продукту, його пари у виробниче та зовнішнє середовище;

- загоряння технологічних трубопроводів, обладнання, продукту;

- відключення електропостачання, яке живить засоби колективного захисту, припливно-витяжну вентиляцію, витяжну вентиляцію шаф, обрив та коротке замикання електрокомунікацій, електрообладнання.

У разі виникнення ситуацій, наведених вище, необхідно вжити термінових заходів:

- припинити виконання робіт;

- відключити обладнання;

- надіти протигаз;

- вивести з приміщення людей;

- повідомити про аварію керівника робіт, адміністрацію;

- у разі виникнення пожежі повідомити керівництво інституту та ДПД, приступити до ліквідації пожежі наявними первинними засобами пожежогасіння на даному об'єкті та викликати пожежну охорону за телефоном "101";

- у разі нещасного випадку повідомити керівництво інституту і надати (долікарську) допомогу.

### НАДАННЯ ДОПОМОГИ.

#### 1. Надання допомоги при опіках кислотами і лугами

При потраплянні кислоти або лугу на шкіру ушкоджені ділянки необхідно ретельно промити струменем води на протязом 15-20 хв., після цього ушкоджену кислотою поверхню обмити 5%-ним розчином питної соди, а обпечену лугом - 3%-ним розчином борної кислоти або розчином оцтової кислоти.

При потраплянні на слизову оболонку очей кислоти або лугу очі необхідно ретельно промити струменем води протязом 15-20 хв., після цього промити 2%-ним розчином питної соди, а при ураженні очей лугом - 2%-ним розчином борної кислоти.

При опіках порожнини рота лугом необхідно полоскати рот 3%-ним розчином оцтової кислоти або 3%-ним розчином борної кислоти, при опіках кислотою - 5%-ним розчином питної соди.

При потраплянні кислоти у дихальні шляхи необхідно дихати розпиленим за допомогою пульверизатора 10%-ним розчином питної соди, при потраплянні лугу - розпиленим 3%-ним розчином оцтової кислоти.

## **2. Надання допомоги при ураженні електричним струмом**

При ураженні електричним струмом необхідно негайно звільнити потерпілого від дії електричного струму, відключивши електроустановку від джерела живлення, а за неможливості відключення - відтягти його від струмоведучих частин за одяг або застосувавши підручний ізоляційний матеріал.

За відсутності у потерпілого дихання і пульсу необхідно робити йому штучне дихання і непрямий (зовнішній) масаж серця, звернувши увагу на зіниці. Розширені зіниці свідчать про різке погіршення кровообігу мозку. При такому стані необхідно негайно приступити до оживлення потерпілого і викликати швидку медичну допомогу.

## **3. Надання допомоги при пораненні**

Для надання допомоги при пораненні необхідно розкрити індивідуальний пакет, накласти стерильний перев'язувальний матеріал, що міститься у ньому, на рану і зав'язати її бинтом.

Якщо індивідуального пакета якимось чином не буде, то для перев'язки необхідно використати чисту носову хустинку, чисту полотняну ганчірку тощо. На те місце ганчірки, що припадає безпосередньо на рану, бажано накапати декілька крапель настоянки йоду, щоб одержати пляму розміром більше рани, а після цього накласти ганчірку на рану. Особливо важливо застосовувати настоянку йоду повним чином при забруднених ранах.

## **4. Надання допомоги при переломах, вивихах, ударах.**

При переломах і вивихах кінцівок необхідно ушкоджену кінцівку укріпити шиною, фанерною пластинкою, палицею, картоном або іншим подібним предметом. Ушкоджену руку можна також підвісити за допомогою перев'язки або хустки до шиї і прибинтувати до тулуба.

При передбачуваному переломі черепа (несвідомий стан після удару голови, кровотеча з вух або роту) необхідно прикласти до голови холодний предмет (грілку з льодом або снігом, чи холодною водою) або зробити холодну примочку.

При підозрі на перелом хребта необхідно потерпілого покласти на дошку, не підіймаючи його, чи повернути потерпілого на живіт обличчям униз, наглядаючи при цьому, щоб тулуб не перегинався, з метою уникнення ушкодження спинного мозку.

При переломі ребер, ознакою якого є біль при диханні, кашлю, чханні, рухах, необхідно туго забинтувати груди чи стягнути їх рушником під час видиху.

## **5. Надання допомоги при теплових опіках**

При опіках вогнем, парою, гарячими предметами ні в якому разі не можна відкривати пухирі, які утворюються, та перев'язувати опіки бинтом.

При опіках першого ступеня (почервоніння) обпечене місце обробляють ватою, змоченою етиловим спиртом.

При опіках другого ступеня (пухирі) обпечене місце обробляють спиртом, 3%-ним марганцевим розчином або 5%-ним розчином таніну.

При опіках третього ступеня (руйнування шкірної тканини) накривають рану стерильною пов'язкою та викликають лікаря.

## **6. Надання допомоги при кровотечі**

Для того щоб зупинити кровотечу, необхідно:

- підняти поранену кінцівку догори;
- кровоточиву рану закрити перев'язувальним матеріалом (із пакета), складеним у клубочок, придавити її зверху, не торкаючись самої рани, потримати на протязом 4-5 хв.; якщо кровотеча зупинилася, то, не знімаючи накладеного матеріалу, поверх нього покласти ще одну подушечку з іншого пакета чи кусок вати і забинтувати поранене місце (з деяким натискуванням);
- при сильній кровотечі, яку не можна зупинити пов'язкою, застосовується здавлювання кровоносних судин, які живлять поранену область, за допомогою згинання кінцівок в суглобах, а також пальцями, джгутом або закруткою; при великій кровотечі необхідно терміново викликати лікаря.

Якщо сталася пожежа, викликати пожежну частину і приступити до гасіння наявними засобами пожежогасіння.

Виконувати всі вказівки керівника робіт щодо усунення наслідків аварійної ситуації.

# 1. Комплект лабораторних робіт з тестування пропантів

## Теоретичний матеріал

Для підвищення ефективності віддачі нафтових свердловин із застосуванням технології гідророзриву пласта тріщини, створювані в ході гідророзриву, заповнюються розклинюючим матеріалом (пропант). При цьому ефективність нафтовіддачі свердловин зростає за рахунок попередження змикання тріщин під дією гірського тиску.

Пропанти - сферичні гранули, які утримують під великим тиском тріщини ГРП (гідророзрив шару) від змикання і забезпечують необхідну продуктивність нафтових і/або газових свердловин шляхом створення в пласті провідного каналу. В період розвитку методу ГРП в якості пропанту пропонувалося використовувати різні матеріали - пісок, скляні кульки, сталеву дріб, алюмінієву стружку, зольні відходи тощо.

**Кварцовий пісок** був першим матеріалом, який використовувався в низькопродуктивних свердловинах для інтенсифікації видобутку нафти шляхом глибокопроникаючого гідророзриву пласта. Кварцовий пісок і нині має найбільш широке застосування в якості розклинюючого агента, який придатний для пластів з невеликим гірським тиском, доступний і має невисоку вартість. Але поряд з цими перевагами пісок має ряд значних недоліків - піщані пропанти руйнуються при тиску близько 28 МПа, отже, не можуть бути використані в свердловинах на великій глибині; крім того, при використанні піску в тріщинах з пухкої породи, він може впроваджуватися в неї.

Після багаторічних досліджень перевага була віддана керамічним пропантам, так як вони поєднують в собі високу міцність, невисоку насипну щільність, хімічну стійкість і високу провідність. Крім керамічних пропантів був освоєний промисловий випуск пропантів з полімерним покриттям (RCP-пропант), які по міцності перевершують інші види пропантів.

До умов, що визначає необхідні експлуатаційні властивості пропанту, відносяться: глибина свердловини, температура і тиск усередині пласта, його нафтогазоносність, заводнення. Тиск всередині пласта безпосередньо залежить від глибини його залягання, тобто від глибини свердловини, саме ця величина є визначальною при виборі пропанту за характеристикою міцності.

Для операції гідророзриву пласта дуже важливий вибір фракції пропанту. Розмір пропанту, як правило, вказується в мешах, і лежить в межах від 8 до 140 меш (від 105 мкм до 2,38 мм). Меш вказує на кількість отворів на один лінійний дюйм екрану сита. Як правило, більш велика фракція пропанту забезпечує більш високу провідність тріщини, завдяки великій кількості пір між гранулами пропанта. Але великі фракції пропанту більше схильні до руйнування, тому при проведенні операції ГРП часто використовують суміші з різних фракцій пропанту.

В даний час в операціях ГРП використовуються наступні види пропанту:

- природний кварцовий пісок;
- алюмосилікатні керамічні пропанти (на основі бокситів, као-лінів і їх сумішей);
- магнезійно-силікатні пропанти (на основі серпентінітов, олівінітов і їх природних сумішей);
- пропанти з полімерним покриттям (як керамічні, так і кварцевий пісок).

Вищезазначені види пропантів розрізняються такими основними характеристиками, як щільність і тиск на стиск. Найменшою міцністю володіє кварцовий пісок, найбільшою – алюмосилікатні пропанти на основі бокситу і керамічні пропанти з полімерним покриттям. Слід зазначити, що, незважаючи різноманітність пропантів, які використовуються у світовій практиці в технології ГРП в даний час, кварцовий пісок залишається найбільш дешевим і найбільш широко застосовуваним видом пропанту.

**Керамічні пропанти.** Високоміцним пропантом є керамічний агломерований боксит, який виготовляють з якісних бокситових або каолінових руд. Процес виготовлення включає подрібнення руди, компактування в сферичні частинки і наступний випал в печі при високій температурі, що викликає процес агломерації. Кінцевий продукт зазвичай містить до 85%  $Al_2O_3$  решта 15% становлять оксиди заліза, титану і кремнію. Питома щільність його  $3,65 \text{ кг/м}^3$  в порівнянні з щільністю піску  $2,65 \text{ кг/м}^3$ . застосовуються агломеровані боксити в основному в глибоких (понад 3500 м) свердловинах.

Пропанти проміжної щільності (питома щільність  $3,15 \text{ кг/м}^3$ ) відрізняються від агломерованих бокситів, перш за все, своїм складом. Вміст оксиду алюмінію в них нижче, вміст кремнію - вище.

При тисках до 80 МПа по проникності вони близькі до агломерованих бокситів. Тому в більшості випадків, завдяки нижчій вартості, ними замінюють боксити. Пропанти низької щільності ( $2,72 \text{ кг/м}^3$ ) - виготовляються так само, як і перераховані вище. Головною відмінністю є їх склад, вони містять 49%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 45%  $\text{SiO}_2$ , 2%  $\text{TiO}_2$  і 4% інших оксидів. Крім того, були створені пропанти з полімерним покриттям, так звані RCP-Пропанти (Resin Coated Proppant).

З метою запобігання зворотного виносу пропанту на кінцевій стадії ГРП в свердловину закачують RCP-Пропанти, покриті частково затвердними полімерними матеріалами. За рахунок полімеризації покриття під впливом високих температур і тиску відбувається міцне зчеплення пропанту. При цьому зберігаються високі значення проникності навіть при впливі на полімерно-покриті пропанти високого тиску.

## **Лабораторна робота № 1**

### **ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ПРОПАНТУ ТА МАСОВОЇ ЧАСТКИ ГРАНУЛ ОСНОВНОЇ ФРАКЦІЇ**

**Ціль роботи** – визначення гранулометричного складу пропанту та визначення масової частки основної фракції пропанту, шляхом просіювання крізь набір сит під впливом вібрації .

#### **1.1. Терміни та визначення**

*Гранулометричний склад пропанту* – це масова частка пропанту, що залишилася на кожному ситі з набору сит після просіювання.

*Основна фракція пропанту* – це масова частка гранул пропанту які, проходячи через верхнє основне сито, затримуються на нижньому основному ситі.

#### **1.2. Апаратура та допоміжні пристрої**

- лабораторний вібростенд з пристроєм для установки набору сит, що забезпечує обертання і струшування. Технічні вимоги до вібростенду наведені в табл. 1.1;

- набори сит з піддоном та кришкою згідно табл. 1.2;
- ваги лабораторні, не нижчі 2-го класу точності;
- набір гир, не нижче 2-го класу точності;
- ємність металева для зважування (не допускається використовувати ємності із пластику, скла або паперу);
- щітка з полімерних матеріалів для чищення сит.

Таблиця 1.1

Технічні вимоги до вібростенду

Частота обертів ексцентрика, об / хв	Число струшувань в хвилину	Межа похибки таймера, с
Від 280 до 290	Від 150 до 160	±5

Таблиця 1.2

Набори сит для визначення гранулометричного складу фракцій пропанту

Номер сита в наборі для розсіювання фракцій пропанту							
10/14	12/18	12/20	16/20	16/30	20/40	30/50	40/70
7	8	8	12	12	16	20	30
<b>10</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>
12	14	14	18	18	25	40	45
<b>14</b>	16	16	<b>20</b>	20	30	45	50
16	<b>18</b>	18	25	25	35	<b>50</b>	60
18	20	<b>20</b>	30	<b>30</b>	<b>40</b>	60	<b>70</b>
20	30	30	40	40	50	70	100
піддон	піддон	піддон	піддон	піддон	піддон	піддон	піддон

Примітка: напівжирним шрифтом виділені верхнє і нижнє основні сита в наборі.

### 1.3. Проведення випробувань

#### 1.3.1. Визначення гранулометричного складу пропанту

1.3.1.1 Скласти набір сит з піддоном і кришкою відповідно до табл.1.2 таким чином, щоб розміри отворів сита зменшувалися зверху вниз. Набір сит обирають згідно позначення фракції пропанту, що зазначена в документі про якість. Лабораторний вібростенд з пристроєм для установки набору сит показаний на рис.1.1



Рисунок. 1.1– Лабораторний вібростенд з пристроєм для установки набору сит: 1 – вібростенд; 2 – сита; 3 – кришка; 4 – піддон; 5 – пристрій для установки сит

1.3.1.2 Зважити пробу для випробувань масою 100 г, з точністю до 0,1 г. Зважити окремо кожне сито.

1.3.1.3 Помістити пробу на верхнє сито. Закрити кришкою і струшувати протягом 10 хв.

1.3.1.4. Після просіювання вийняти набір сит з вібростенда, акуратно перенести залишки пропанту з верхнього сита в металеву ємність за допомогою щітки та зважити з точністю до 0,0002 г. Цю процедуру повторити для кожного сита і піддону.

### **1.3.2. Визначення масової частки гранул основної фракції пропанту.**

1.3.2.1 Скласти набір основних сит з піддоном і кришкою відповідно до таблиці 1.2 таким чином, щоб розміри отворів сита зменшувалися зверху вниз. Набір сит обирають згідно позначення фракції пропанту, що зазначена в документі про якість. Встановити сита на вібростенд як показано на мал.1.

1.3.2.2. Далі провести аналіз згідно п.п. 1.3.1.2 - 1.3.1.4.

Допускається визначати масову частку гранул основної фракції пропанту одночасно з визначенням гранулометричного складу. В цьому випадку за масу основної фракції беруть суму мас гранул пропанту, що залишилася на ситах, що знаходяться між основними ситами в наборі, виключаючи верхнє, але включаючи нижнє.

Випробування проводять на 2-х послідовних пробах на одному і тому ж наборі сит.

#### **1.4 Обробка результатів:**

1.4.1 Обчислити масову частку гранул пропанту, що залишилися на  $i$ -му ситі і піддоні,  $\omega_i$ , %, за формулою:

$$w_i = (m_i/m) \times 100, \quad (1.1)$$

де  $i$  - номер сита або піддону;

$m_i$  - маса залишку гранул на  $i$ -му ситі або піддоні, г;

$m$  - маса проби, що взята для випробувань, г.

1.4.2 Обчислити масову частку гранул основної фракції  $\omega_{\text{осн.фр.}}$ , %, за формулою :

$$W_{\text{осн.фр.}} = (m_{\text{ост.}}/m) \times 100, \quad (1.2)$$

де:  $m_{\text{ост}}$  - маса гранул основної фракції пропанту, г;

$m$  - маса проби, що взята для випробувань, м.

1.4.3 Записати результати вимірювань з точністю до 0,1 %.

1.4.4 За результат визначень приймають середньоарифметичне значення двох послідовних випробувань.

#### **1.5 Точність випробувань**

Допустиме відхилення суми мас пропанту на ситах і піддоні від маси проби, що взята для випробувань не повинно перевищувати 0,5 % від маси проби. В іншому разі результати випробування не вважаються вірними і випробування підлягає повторенню.

### **Лабораторна робота № 2 ВИЗНАЧЕННЯ СФЕРИЧНОСТІ І ОКРУГЛОСТІ ГРАНУЛ ПРОПАНТУ**

**Ціль роботи** – визначити сферичність і округлість гранул пропанту з використанням мікроскопа (Метод А) або з використанням цифрової фотокамери (Метод Б).

## **2.1. Терміни та визначення**

**Сферичність гранул пропанту** – ступінь наближення гранул пропанту до сферичної форми, вимірюється в умовних одиницях.

**Округлість гранул пропанту** – ступінь відносної згладженості кутів при вершинах і ребер гранул пропантів, вимірюється в умовних одиницях.

## **2.2. Методики випробувань**

### **2.2.1 Метод А**

#### **2.2.1.1 Апаратура та лабораторне приладдя**

- оптичний або світловий мікроскоп з кратністю збільшення не менше 10;
- ложка порцелянова;
- діаграма Крумб'єна – Шлоса.

#### **2.2.1.2 Проведення випробувань**

2.2.1.2.1. Ретельно перемішати пробу за допомогою порцелянаної ложки та перенести невелику кількість пропанту на аркуш білого паперу або іншого матеріалу білого кольору.

2.2.1.2.2. Розподілити гранули пропанту на аркуші в один шар та помістити аркуш на предметний столик мікроскопу.

2.2.1.2.3. Дивлячись в окуляр, довільно вибрати 20-25 гранул, що знаходяться в полі зору.

2.2.1.2.4. Визначити сферичність та округлість обраних гранул шляхом порівняння з діаграмою (рис. 2.1).

### **2.2.2 Метод Б:**

#### **2.2.2.1 Апаратура та лабораторне приладдя**

- фотокамера цифрова;
- комп'ютер персональний;
- ложка порцелянова.

#### **2.2.2.2 Проведення випробувань:**

2.2.2.2.1. Ретельно перемішати пробу за допомогою порцелянаної ложки та перенести невелику кількість пропанту на аркуш білого паперу або іншого матеріалу білого кольору.

2.2.2.2.2. Розподілити гранули пропанту на аркуші в один шар та здійснити зйомку гранул пропанту. Обробити фотографії за допомогою комп'ютера обрізаючи їх таким чином, щоб в полі зору

знаходилося 20-25 гранул пропанту, і збільшити зображення виділених гранул з кратністю згідно табл. 2.1 в залежності від фракції гранул пропанту.

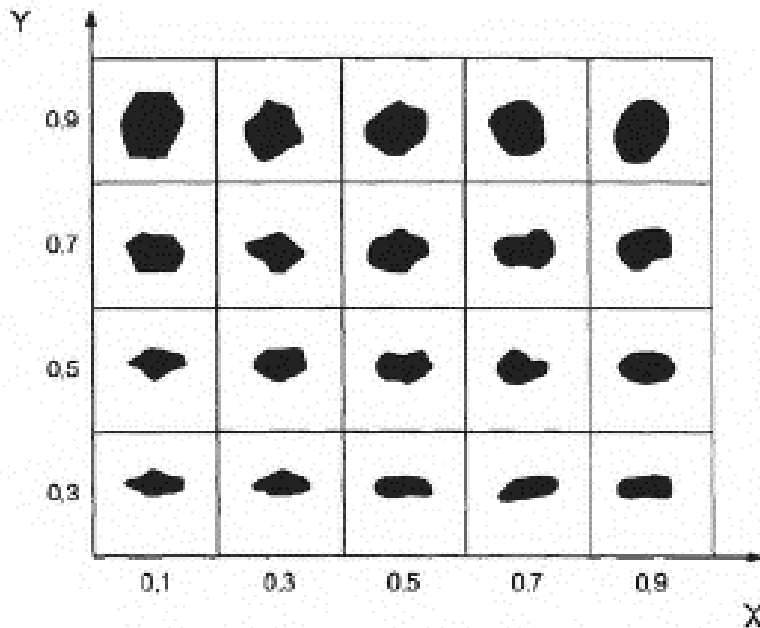


Рисунок 2.1 – Діаграма Крэмб'єна - Шлоса для візуальної оцінки сферичності та округлості: *X* – округлість в умовних одиницях, *Y* – сферичність в умовних одиницях

Таблиця 2.1

Кратність збільшення в залежності від фракції пропанту

Фракція	Кратність збільшення
10/14	15
12/18	15
12/20	15
16/20	30
16/30	30
20/40	30
30/50	30
40/70	40

2.2.2.2.3 Роздрукувати фотографії, проставляючи номери гранул.

2.2.2.2.4 Визначити сферичність та округлість обраних гранул шляхом порівняння з діаграмою (рис. 2.1).

### **2.2.3 Обробка результатів:**

За результат визначення приймають середнє арифметичне значення сферичності та округлості перевіреного набору гранул, обчислене з точністю до 0,1 умовної одиниці.

### **2.2.4 Точність метода:**

Допустима похибка визначення округлості і сферичності в діапазоні вимірювань від 0,3 до 0,9 складає  $\pm 0,1$  умовної одиниці.

## **Лабораторна робота № 3 ВИЗНАЧЕННЯ РОЗЧИННОСТІ ПРОПАНТУ В КИСЛОТАХ**

**Ціль роботи** – визначити розчинність пропанту в соляній кислоті та в суміші кислот за допомогою вимірювання відносної зміни маси пропанту після обробки кислотовмісними розчинами.

### **3.1. Засоби вимірювання, апаратура, матеріали та допоміжні пристрої**

- баня водяна, що забезпечує нагрів і підтримання температури  $(65\pm 1)^\circ\text{C}$ ;
- шафа сушильна, що забезпечує нагрів і підтримання температури  $(110\pm 5)^\circ\text{C}$ ;
- ваги лабораторні, класу точності не нижче 2;
- набір гир, класу точності не нижче 2;
- секундомір з межами вимірювання 0-60 хв, класу точності 2;
- стакани хімічні з фторопласту або поліпропілену місткістю  $250\text{ см}^3$ ;
- стакани хімічні скляні місткістю  $250\text{ см}^3$ ;
- стакан з поліпропілену зі шкалою місткістю  $1000\text{ см}^3$ ;
- колба мірна з поліпропілену місткістю  $1000\text{ см}^3$ ;
- воронка з фторопласту або поліпропілену діаметром 70-100 мм;
- воронка скляна діаметром 80 мм;
- чашки порцелянові діаметром не менше 60мм;
- ексікатор, заповнений осушувачем;

- кислота соляна 37% кваліфікації не нижче ч.д.а.;
- кислота соляна, 15% розчин;
- кислота фтороводнева 52% кваліфікації не нижче ч.д.а.;
- амоній фтористий кислий кваліфікації не нижче ч.д.а.;
- вода дистильована;
- фільтр беззольний «біла стрічка».

### **3.2. Приготування робочих розчинів**

3.2.1 Приготування робочого розчину суміші соляної і фтороводневої кислот з масовим співвідношенням 4:1.

3.2.1.1 Налити 500 см<sup>3</sup> дистильованої води в мірну колбу з поліпропілену, додати 54 см<sup>3</sup> фтороводневої кислоти і 293 см<sup>3</sup> 37 % соляної кислоти (при інших концентраціях зазначених кислот об'єм скорегувати).

3.2.1.2 Долити дистильовану воду до мітки і ретельно перемішати.

3.2.2 Приготування робочого розчину суміші соляної кислоти і фтористого амонію кислого з масовим співвідношенням 4:1.

3.2.2.1 Налити 500 см<sup>3</sup> дистильованої води в мірну колбу з поліпропілену, додати 46,23 г фтористого амонію, розчинити його у воді, потім додати 361 см<sup>3</sup> 37 % соляної кислоти.

3.2.2.2 Долити дистильовану воду до мітки і ретельно перемішати.

### **3.3. Підготовка до випробувань**

3.3.1 Насипати зразок пропанту у порцелянову чашку, помістити у сушильну шафу, нагріту до температури (110 ± 5) °С на протязі 60 хв., після чого перенести чашку в ексікатор, закрити кришкою, охолодити на протязі 30 хв. та зважити с точністю до 0,0002 г. Зберігати зразок пропанту в ексікаторі до аналізу.

3.3.2 Підготовка порцелянової чашки.

3.3.2.1 Висушити дві порцелянові чашки як зазначено п. 3.3.1. Повторювати операцію сушки та зважування до отримання постійної маси (розходження між двома послідовними зважуваннями не повинно перевищувати 0,0004 г.). Повторні висушування повинні тривати 30 хв.

### **3.4 Проведення випробувань**

#### **3.4.1 Визначення розчинності пропанту в суміші кислот.**

3.4.1.1 Помістити пробу сухого пропанту масою 5 г, зважену з точністю до 0,001 г, в хімічний стакан з фторопласту або поліпропілену, залити її 100 см<sup>3</sup> одного з робочих розчинів, приготованих згідно п.п. 3.2.1 або 3.2.2. Розчин і пропант повинні мати кімнатну температуру.

3.4.1.2 Помістити стакан у водяну баню, нагріту до температури (65 ± 1) °С та витримати, не перемішуючи, на протязі 30 - 35 хв.

3.4.1.3 Висушити до постійної маси порцелянову чашку з паперовим фільтром.

3.4.1.4 Встановити фторопластову або поліпропіленову воронку у стакан з того ж матеріалу, помістити у воронку фільтр та перенести пропант зі стакану на фільтр, обмити стакан дистильованою водою не менше 3-х разів, дати стекти рідині з фільтру повністю і 3 рази промити фільтр дистильованою водою, даючи стекти воді повністю після кожної промивки.

3.4.1.5 Перенести пробу з фільтром у порцелянову чашку, висушену до постійної маси та помістити чашку в сушильну шафу, нагріту до температури (110 ± 5) °С на 20 хв. та висушити до постійної маси, записати вагу чашки з фільтром та пропантом.

#### **3.4.2 Визначення розчинності пропанту в соляній кислоті**

3.4.2.1 Помістити пробу сухого пропанту масою 5 г, зважену з точністю до 0,001 г, в хімічний скляний стакан, залити її 100 см<sup>3</sup> 15 % розчину соляної кислоти. Кислота і зразок проби повинні мати кімнатну температуру.

3.4.2.2 Помістити стакан у водяну баню, нагріту до температури (65 ± 1) °С, та витримати, не перемішуючи, на протязі 30 - 35 хв.

3.4.2.3 Далі провести аналіз згідно п.п. 3.4.1.3 - 3.4.1.5, використовуючи хімічний посуд та приладдя, виготовленні зі скла.

### **3.5 Обробка результатів**

3.5.1 Обчислити розчинність пропанту в суміші кислот, S, %, за формулою:

$$S = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100, \quad (3.1)$$

де  $m_1$  - маса висушеної до постійної маси проби пропанту, що взята для аналізу, г;

$m_2$  - маса висушеної до постійної маси проби пропанту після обробки робочим розчином, г, що дорівнює:

$$m_2 = m_4 - m_3, \quad (3.2)$$

де  $m_3$  - маса порожньої чашки, висушеної до постійної маси, г;

$m_4$  – маса висушеної до постійної маси чашки з пробєю пропанту після обробки робочим розчином, г.

3.5.2 Обчислити розчинність пропанту в соляній кислоті  $S_{\text{HCl}}$ , %, за формулою:

$$S_{\text{HCl}} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100, \quad (3.3)$$

де  $m_1$  - маса висушеної до постійної маси проби пропанту, що взята для аналізу, г;

$m_2$  - маса висушеної до постійної маси проби пропанту після обробки розчином соляної кислоти, г, що дорівнює:

$$m_2 = m_4 - m_3, \quad (3.4)$$

де  $m_3$  - маса порожньої чашки, висушеної до постійної маси, г;

$m_4$  – маса висушеної до постійної маси чашки з пробєю пропанту після обробки розчином соляної кислоти, г.

За результат випробування приймають середньоарифметичне значення двох паралельних випробувань. Результат записують з точністю до 0,1%.

## **Лабораторна робота № 4 ВИЗНАЧЕННЯ МУТНОСТІ**

**Ціль роботи** – визначити мутність водної суспензії пропанту фотометричним методом.

### **4.1. Терміни та визначення**

**Мутність** – інтенсивність розсіювання світла на частинках, що заходяться у підвішеному стані в одиниці об'єму водної суспензії

пропанту, виражена в одиницях ОМФ (одиниці мутності по Формазіну).

#### **4.2 Засоби вимірювання, апаратура, допоміжні пристрої**

- фотометр лабораторний фотоелектричний КФК-3 або аналогічний, вимірювальні кювети з поглинаючим шаром товщиною 10 мм;
- ваги і набір гир класу точності не нижче 2;
- баня водяна або шафа сушильна, що забезпечує нагрів і підтримання температури  $(25 \pm 3)$  °С;
- секундомір з межами вимірювання 0-60 хв, класу точності 2;
- бутиль для реагентів з притертою пробкою та вузькою горловиною місткістю 250 см<sup>3</sup>;
- циліндри мірні місткістю 25 та 100 см<sup>3</sup>;
- колби мірні місткістю 100 см<sup>3</sup>;
- колба мірна з пробкою місткістю 500 см<sup>3</sup>;
- воронка скляна діаметром 80 мм;
- піпетки місткістю 2 см<sup>3</sup>, 5 см<sup>3</sup>, 10 см<sup>3</sup>, 25 см<sup>3</sup>, 100 см<sup>3</sup>;
- гідразин сірчаноокислий кваліфікації не нижче ч.д.а.;
- уротропін (гексаметилентетрамін), кваліфікації не нижче ч.д.а.;
- вода дистильована.

#### **4.3 Проведення випробувань**

Метод визначення мутності базується на вимірюванні оптичної густини водної суспензії, отриманої в результаті розсіювання світла частинками матеріалу, що знаходяться у змочувальній рідині в підвішеному стані, фотометричним методом в одиницях ОМФ (одиниці мутності по Формазіну). Випробуванням піддають проби пропанту, які не пройшли додаткову механічну обробку, наприклад, просіювання на ситі, випробування на опір руйнування, подрібнення.

##### **4.3.1 Побудова градуювального графіка**

4.3.1.1 Приготування вихідної стандартної водної суспензії формазіна з мутністю 400 ОМФ.

4.3.1.1.1 Приготування розчину сірчаноокислого гідразину (розчин А).

4.3.1.1.1 Зважити 1г сірчаноокислого гідразину з точністю до 0,001 г.

4.3.1.1.1.2 Перенести гідрозин в мірну колбу місткістю 100 см<sup>3</sup>, додати невелику кількість води та розчинити його.

4.3.1.1.1.3 Довести об'єм розчину до мітки дистильованою водою і ретельно перемішати.

4.3.1.1.2 Приготування розчину уротропіну (розчин Б).

4.3.1.1.2.1 Зважити 10 г уротропіну з точністю до 0,001 г.

4.3.1.1.2.2 Перенести уротропін в мірну колбу місткістю 100 см<sup>3</sup>, додати невелику кількість води та розчинити його.

4.3.1.1.2.3 Довести об'єм розчину до мітки дистильованою водою і ретельно перемішати.

4.3.1.1.3 Приготування вихідної стандартної суспензії формазіна.

4.3.1.1.3.1 Відібрати по 25 см<sup>3</sup> розчинів А і Б в мірну колбу місткістю 500 см<sup>3</sup> за допомогою піпетки. Закрити колбу пробкою ретельно перемішати і витримати 24 год при температурі (25 ± 3) °С.

4.3.1.1.3.2 Помістити мірну колбу у водяну баню, нагріту до температури (25 ± 3) °С, та витримати, не перемішуючи, на протязі 24 год.

4.3.1.1.3.3 Довести об'єм розчину до мітки дистильованою водою і ретельно перемішати.

Термін зберігання суспензії - не більше одного місяця.

4.3.1.2 Приготування стандартних суспензій формазіна мутністю 8, 20, 40, 100, 200 і 400 ОМФ

4.3.1.2.1 Відібрати у шість мірних колб місткістю 100 см<sup>3</sup> аліквотні частини вихідної стандартної суспензії формазіна відповідно: 2; 5; 10, 25, 50, 100, см<sup>3</sup>, що відповідає ступеню мутності отриманих стандартних суспензій 8, 20, 40, 100, 200 і 400 ОМФ.

4.3.1.2.2 Довести об'єм суспензії в кожній колбі до мітки дистильованою водою і ретельно перемішати.

4.3.1.3 Вимірювання оптичної густини та побудова градууювального графіка.

4.3.1.3.1 Виміряти оптичну густини стандартних суспензій на фотометрі при довжині хвилі 450 Нм. В якості контрольного розчину використати дистильовану воду.

4.3.1.3.2 Повторити тричі визначення оптичної густини кожного розчину та взяти для побудови графіка середнє арифметичне значення трьох вимірювань.

4.3.1.3.3 Побудувати градууювальний графік, відкладаючи по осі абсцис значення концентрації стандартних суспензій формазіна ОМФ, а по осі ординат-оптичну густину розчину.

#### **4.3.2 Визначення мутності проби**

4.3.2.1 Відміряти 20 см<sup>3</sup> проби пропанту за допомогою мірного циліндра.

4.3.2.2. Пересипати пробу в бутиль для реагентів за допомогою воронки.

4.3.2.3 Відміряти 100 см<sup>3</sup> дистильованої води за допомогою мірного циліндру та долити її в бутиль, омиваючи стінки воронки.

4.3.2.4 Закрити бутиль кришкою та злегка струшувати до повного проходження води через шар пропанту.

4.3.2.5 Залишити закриту бутиль на 30 хв.

4.3.2.6 Перемішати вміст бутилі, енергійно струшуючи її з частотою приблизно 2 струшування в секунду протягом 30 с. Витримати на протязі 5 хв. Допускається застосовувати перемішуючий пристрій для перемішування пропанту .

4.3.2.7 Відібрати 10 см<sup>3</sup> розчину з центральної частини шару водної суспензії над пропантом за допомогою піпетки. Помістити його в кювету та виміряти оптичну густину за допомогою фотометру при довжині хвилі 450 Нм. В якості контрольного розчину використати дистильовану воду.

#### **4.4. Обробка результатів**

4.4.1 Визначити ступінь мутності пропанту в ОМФ по градууювальному графіку згідно отриманого значення оптичної густини розчину.

За результат визначень приймають середньоарифметичне трьох послідовних результатів вимірювань. Результат записати з точністю до 1 ОМФ.

Для контролю точності вимірювань застосовують стандартний зразок суспензії Формазіна з показником ступеня мутності 200 ОМФ.

## Лабораторна робота № 5

### ВИЗНАЧЕННЯ НАСИПНОЇ ЩІЛЬНОСТІ ПРОПАНТУ

**Ціль роботи** – визначити насипну щільність пропанту двома методами:

- а) у мірному скляному циліндрі (Метод А);
- б) у каліброваному металевому циліндрі (Метод Б).

#### 5.1. Терміни та визначення

**Насипна щільність пропанту** – відношення маси вільно насипаних зерен пропанту до об'єму, який вони займають, г/см<sup>3</sup>.

#### 5.2 Метод А

##### 5.2.1 Засоби вимірювання, апаратура і допоміжні пристрої

- ваги і набір гир класу точності не нижче 3;
- циліндр мірний скляний місткістю 100 см<sup>3</sup>;
- воронка з поліпропілену з широким розтрубом;
- шпатель довжиною 120 мм.

##### 5.2.2 Проведення випробувань

5.2.2.1 Зважити сухий мірний циліндр з точністю до 0,01 г.

5.2.2.2 Заповнити циліндр пробкою пропанту до позначки 100 см<sup>3</sup> за допомогою воронки без струшування і трамбування, переміщаючи точку витікання пропанту, для забезпечення його рівномірної засипки в циліндр.

5.2.2.3 Зважити циліндр з пропантом з точністю до 0.01 г.

##### 5.2.3 Обробка результатів

5.2.3.1 Обчислити насипну щільність,  $\rho_{\text{нсп}}$ , г/см<sup>3</sup>, за формулою:

$$\rho_{\text{нсп}} = \frac{m_{\text{с.п}} - m_{\text{с}}}{V_{\text{п}}}, \quad (5.1)$$

де  $m_{\text{с.п}}$  - маса циліндра з пропантом, г;

$m_{\text{с}}$  - маса сухого чистого циліндра, г;

$V_{\text{п}}$  – об'єм пропанту в циліндрі (100 см<sup>3</sup>).

За результат визначень приймають середньоарифметичне значення двох паралельних випробувань. Результат записують з точністю до 0,01 г/см<sup>3</sup>.

## 5.3 Метод Б

### 5.3.1 Засоби вимірювання, апаратура і допоміжні пристрої

- пристрій для визначення насипної щільності, що відповідає вимогам встановленим для нього в згідно п. 5.3.2;
- ваги і набір гир класу точності не нижче 3;
- скло покривне 20/22;
- вода дистильована;
- папір фільтрувальний;
- мензурка скляна місткістю 250 см<sup>3</sup>.

### 5.3.2. Конструкція пристрою для визначення насипної щільності та вимоги для нього

5.3.2.1 Схема пристрою для визначення насипної щільності показана на рис 5.1.

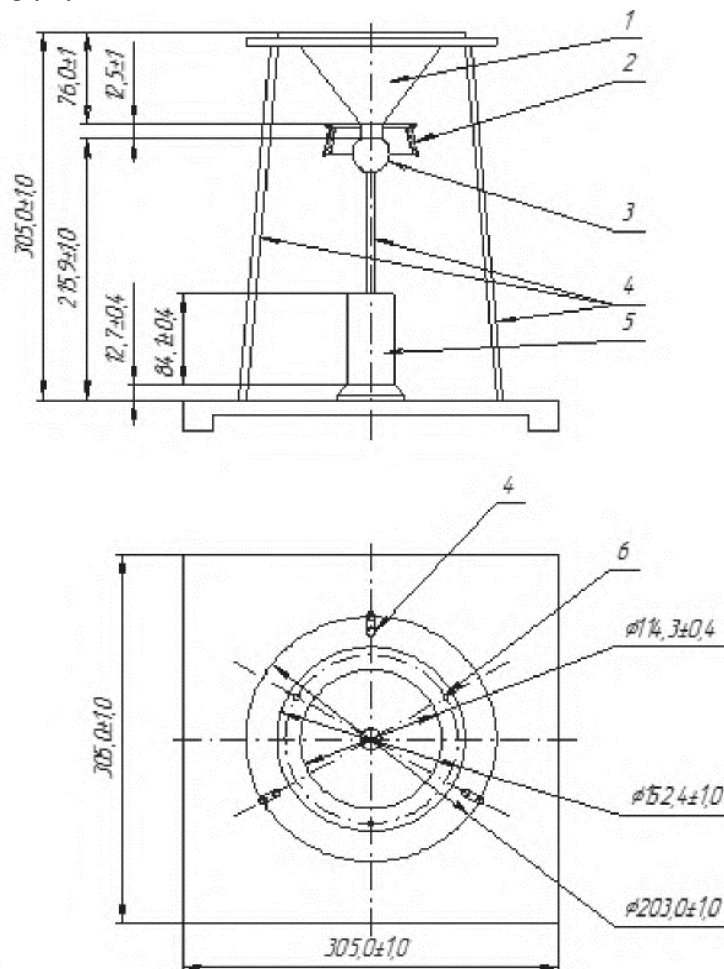


Рисунок 5.1 – Пристрій для визначення насипної щільності:  
1 – воронка, 2 – пружина, 3 – стопорна гумова куля, 4 – опора,  
5 – калібрований циліндр, 6 – гвинти

5.3.2.2 Вимоги до пристрою з визначення насипної щільності.

5.3.2.2.1 Опора пристрою 4 складається зі штатива для воронки, з квадратною металевою основою розмірами  $[(305,0 \pm 1,0) \times (305,0 \pm 1,0)]$  мм на якій проставлені мітки для гарантованого розташування циліндра по центру випускного отвору воронки і триноги заввишки  $(305,0 \pm 1,0)$  мм; верхня частина опори складається з горизонтального кільця діаметром  $(203,0 \pm 1,0)$  мм, що призначене для кріплення воронки за допомогою гвинтів 6.

5.3.2.2.2 Калібрований металевий мірний циліндр 5 місткістю близько  $100 \text{ см}^3$  і внутрішнім діаметром  $(38,9 \pm 0,1)$  мм, виготовлений з немагнітного металу або сплаву.

5.3.2.2.3 Воронка 1, виготовлена з нержавіючої сталі з гладкими внутрішніми швами, основні розміри воронки наведені в табл. 5.1.

5.3.2.2.4 Відсікаючий клапан, встановлений на отворі воронки, що складається з гумової стопорної кульки 3 діаметром  $(30,5 \pm 0,1)$  мм, прикріпленої до воронки двома гвинтовими пружинами 2, що забезпечує її щільне прилягання.

Таблиця 5.1

Розміри воронки

Верхній внут.діаметр	Нижній внут.діаметр	Висота конічної частини	Висота циліндричної частини
$114,3 \pm 0,4$	$12,7 \pm 0,4$	$76,0 \pm 1,0$	$12,5 \pm 1,0$

Допускається застосовувати пристрої інших розмірів, які не впливають на точність вимірювань.

### 5.3.3 Проведення випробувань

5.3.3.1 Визначення місткості циліндра.

5.3.3.1.1 Зважити порожній сухий циліндр із покривним склом з точністю до 0,01 г.

5.3.3.1.2 Заповнити циліндр дистильованою водою, провести склом по верхньому краю циліндра, видаляючи воду точно по площині кромки.

5.3.3.1.3 Видалити надлишок води за допомогою фільтрувального паперу при щільно притиснутій пластині.

5.3.3.1.4 Зважити циліндр з водою та пластиною з точністю до 0,01 г.

5.3.3.1.5 Обчислити місткість металевого мірного циліндра за формулою:

$$V = \frac{m_{об} - m_{ос}}{\rho_{в}}, \quad (5.1)$$

де  $m_{об}$  - маса циліндра з водою та покривним склом, г;

$m_{ос}$  - маса порожнього сухого циліндра з покривним склом, г;

$\rho_{в}$  – густина води за температури оточуючого середовища під час випробувань, г/см<sup>3</sup> (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

Густина води при різних температурах

Температура, °С	Густина, г/см <sup>3</sup>
19	0,99843
20	0,99823
21	0,99802
22	0,99780
23	0,99757
24	0,99733
25	0,99708
26	0,99682
27	0,99655
28	0,99627

5.3.3.2 Визначення насипної щільності пропанту.

Випробування проводять при температурі 19°C - 28°C.

5.3.3.2.1 Відміряти 150 см<sup>3</sup> проби пропанту за допомогою мензурки та висипати її у воронку пристрою для визначення насипної щільності, отвір якої закрито гумовою стопорною кулькою.

5.3.3.2.2. Помістити калібрований металевий мірний циліндр на металеву основу штатива згідно проставлених міток.

5.3.3.2.3 Випустити весь об'єм пропанту в циліндр, переміщаючи гумову кульку вліво або вправо.

5.3.3.2.4 Акуратно зняти надлишок пропанту проводячи покривним склом по краю циліндру без струшування і трамбування.

5.3.3.2.5 Зважити циліндр с пропантом і покривним склом з точністю до 0,01г.

### 5.3.4 Обробка результатів

Розрахувати насипну щільність пропанту,  $\rho_{\text{нсп}}$ , г/см<sup>3</sup>, за формулою:

$$\rho_{\text{нсп}} = \frac{m_{\text{о.п.}} - m_{\text{о.с.}}}{V}, \quad (5.2)$$

де  $m_{\text{о.п.}}$  - загальна маса циліндра з пропантом і покривним склом, г;

$m_{\text{о.с.}}$  - маса порожнього сухого циліндра з покривним склом, г;

$V$  – місткість циліндра визначена згідно пункту 5.3.3.1.5.

За результат визначень приймають середньоарифметичне значення двох послідовних випробувань. Результат записують з точністю 0,1г/см<sup>3</sup>.

## Лабораторна робота № 6 ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ РУЙНУВАННЯ ПРОПАНТУ

**Ціль роботи** – визначити опір руйнування пропанту під дією заданого стискаючого навантаження.

### 6.1. Терміни та визначення

**Опір руйнування пропантів** – масова частка гранул, зруйнованих під впливом заданого стискаючого навантаження.

### 6.2 Засоби вимірювання, апаратура і допоміжні пристрої

- прес випробувальний з гідравлічною системою навантаження для проведення тестів на стиснення, що забезпечує плавне і поступове збільшення тиску і обладнаний системою вимірювань прикладеного зусилля з гранично допустимими відхиленнями  $\pm 2\%$  (рис 6.1):

1. діапазон навантаження: 2,5 - 1300 кН;
2. клас точності 1 в діапазоні 2,5-600 кН;
3. рама 4-х колонна з опресованими з'єднаннями колонн;
4. пристрій захисний гідравлічний для зупинки поршню у верхній точці для запобігання його виходу з циліндру;
5. індикатор положення рівня поршню;
6. пластини нажимні діаметром 210 мм з твердістю 55 HRC;
7. хід поршню не менше 50 мм;
8. блок управління електронний з сенсорним графічним екраном та можливістю вибору мови інтерфейсу.



Рисунок 6.1 – Гідравлічний прес: 1 – 4-х колонна рама;  
2 – верхня нажимна пластина, 3 – нижня нажимна пластина;  
4 – електронний блок управління; 5 – гідравлічний захисний пристрій для зупинки пориню

- ємність для руйнування гранул, виготовлена зі сталі з твердістю за шкалою Роквелла С не менш 43 та розмірами згідно рис. 6.2. Ємність періодично перевіряють на знос.

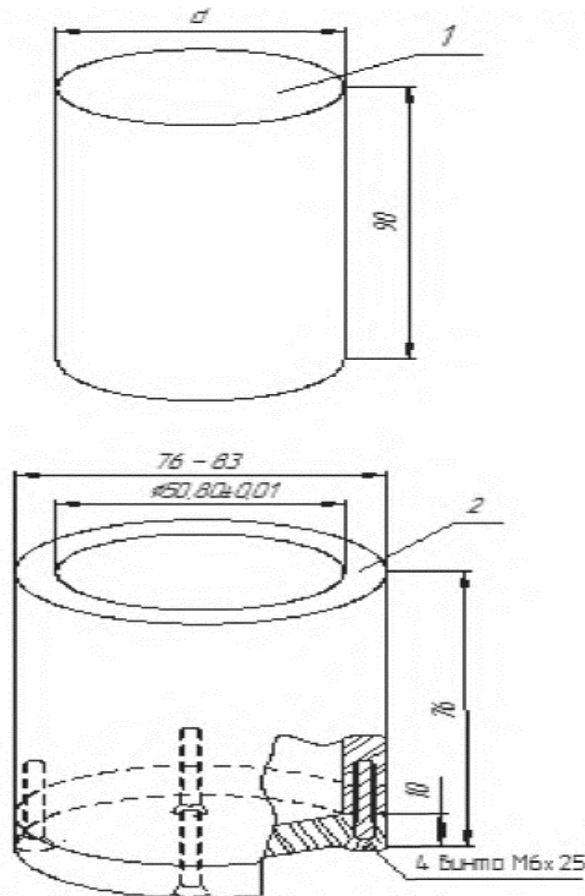


Рисунок 6.2 – Ємність для руйнування гранул:  
1 – пуансон, 2 – форма

- лабораторний вібростенд з пристроєм для установки набору сит, що забезпечує обертання і струшування. Технічні вимоги до вібростенду наведені в табл. 6.1.

- набори сит з піддоном та кришкою згідно табл. 6.1.
- ваги лабораторні класу точності не нижче 2;
- набір гир класу точності не нижче 2;
- ємність металева для зважування (не допускається використувати ємності із пластику, скла або паперу.);
- щітка з полімерних матеріалів для чищення сит;
- воронка з широким розтрубом.

Таблиця 6.1

Технічні вимоги до вібростенду

Частота обертів ексцентрика, об / хв	Число струшувань в хвилину	Межа похибки таймера, с
Від 280 до 290	Від 150 до 160	±5

Таблиця 6.2

Набори сит для визначення гранулометричного складу  
фракцій пропанту

Номер сита в наборі для розсіювання фракцій пропанту							
10/14	12/18	12/20	16/20	16/30	20/40	30/50	40/70
7	8	8	12	12	16	20	30
<b>10</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>
12	14	14	18	18	25	40	45
<b>14</b>	16	16	<b>20</b>	20	30	45	50
16	<b>18</b>	18	25	25	35	<b>50</b>	60
18	20	<b>20</b>	30	<b>30</b>	<b>40</b>	60	<b>70</b>
20	30	30	40	40	50	70	100
піддон	піддон	піддон	піддон	піддон	піддон	піддон	піддон

*Примітка:* напівжирним шрифтом виділені верхнє і нижнє основні сита в наборі.

Номер набору сит обирають згідно позначення фракції пропанту.

### 6.3 Підготовка проби

6.3.1 Відібрати пробу для випробувань масою від 100 до 120 г.

6.3.2 Просіяти пробу на лабораторному вібростенді протягом 10 хв крізь набір сит, номери яких відповідають фракції випробуваного пропанту.

6.3.3 Видалити гранули пропанту, що залишилися на верхньому ситі і пройшли через нижнє сито, а решту використати для випробувань.

### 6.4. Проведення випробувань

6.4.1 Обчислити масу проби пропанту  $m$  за формулою:

$$m=1,22 \times \rho_{\text{нсп}} \times \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4}, \quad (6.1)$$

де 1,22 - постійна ємності для руйнування, що враховує об'єм пропанту, що припадає на 1 см<sup>2</sup> площі дна ємності, см<sup>3</sup>/см<sup>2</sup>;

$\rho_{\text{нсп}}$  - насипна щільність г/см<sup>3</sup>;

$d_{\text{вн}}$  - внутрішній діаметр ємності для розчавлювання, см.

6.4.2 Зважити пробу пропанту з точністю до 0,01г.

6.4.3 Засипати пробу пропанту за допомогою воронки в ємність для руйнування, переміщаючи точку витікання пропанту для забезпечення його рівномірної засипки.

6.4.4 Обчислити зусилля  $F$ , необхідне для забезпечення заданого тиску,  $P$ , за формулою:

$$F=P \times \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4}, \quad (6.2)$$

де  $P$  - тиск, МПа;

$d_{\text{вн}}$  - внутрішній діаметр ємності для руйнування, мм.

6.4.5 Помістити ємність з пробєю без струшування на нижню нажимну частину гідравлічного пресу, опустити пуансон до поверхні пропанту без додавання зусилля та повернути пуансон на 180° для вирівнювання поверхні.

6.4.6 Збільшувати тиск рівномірно протягом 1 хв. до досягнення розрахованого зусилля і підтримувати його протягом 2 хв.

6.4.7 Знизити зусилля до 0, зняти ємність для руйнування гранул з пресу і перенести її вміст на той же набір сит, який був використаний для підготовки проби згідно пункту 6.3.1.

6.4.8 Просіяти зруйновані гранули на лабораторному вібростенді протягом 10 хв. Після просіювання вийняти набір сит з вібростенда, акуратно перенести зруйновані гранули з піддону в металеву ємність за допомогою щітки та зважити з точністю до 0,01 г.

### **6.5. Обробка результатів**

6.5.1 Обчислити опір руйнування пропанту,  $f$ , %, за формулою:

$$f = \frac{m_{зр}}{m} \times 100, \quad (6.3)$$

де  $m_{зр}$  - маса зруйнованих гранул пропанту, г;

$m$  - маса проби пропанту, г.

За результат випробувань приймають середньоарифметичне значення двох послідовних випробувань. Результат визначень записують з точністю до 0,01 %.

## **2. КОМПЛЕКТ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З ТЕСТУВАННЯ ГЕЛІВ**

### **Теоретичний матеріал**

Гідравлічний розрив пласта є одним з найбільш ефективних технологій інтенсифікації для добуваючих та нагнітаючих свердловин. Технологія ГРП передбачає приготування рідини для закачування шляхом змішування спеціальних хімічних реагентів. Найважливішим фактором успішності процедури ГРП є якість застосовуваних рідин розриву. Застосування гелів для ГРП дозволяє забезпечити:

- збереження колекторських властивостей пласта за рахунок відсутності набрякання глини, низької фільтрації в пласт;
- ефективне використання в польових умовах за рахунок низьких температур замерзання реагентів;
- легку адаптацію параметрів консистентності, ступеня неньтонівської поведінки, піскоутримуючої здатності гелю під конкретні параметри проведення ГРП на свердловині;

**Гель** - це колоїдна структурована система з досить малою граничною напругою зсуву, що складається з високомолекулярних і низькомолекулярних речовин. Наявність тривимірного полімерного каркаса (сітки) надає гелям механічні властивості твердих тіл: відсутність плинності, здатність зберігати форму, міцність і здатність до деформації (пластичність і пружність).

Гелі складаються, що найменше, з двох компонентів, один з яких утворює безперервну тривимірну макромолекулярну сітку, яка виступає в ролі каркаса, порожнечі в якій заповнені низькомолекулярним розчинником- дисперсною фазою.

Речовини, здатні утворювати макромолекулярну структуру гелів, називають гелеутворювачами. До них відносяться як неорганічні (діоксин кремнію, оксид алюмінію), так і органічні речовини і їх суміші (полімери, желатин, агар-агар, пектинові речовини та ін.) Низькомолекулярною дисперсною фазою- наповнювачем гелю – виступають вода, нижчі моно- та олігоспирти, вуглеводні. Гелі з водною дисперсною фазою називаються гідрогелями, із спиртовою – алкоголями, з вуглеводневою – органогелями (загальна назва «ліогелі»). Видаленням з ліогелей рідкої фази можна отримати тонкопористі тіла (аерогелі або ксерогелі).

Існують наступні типи гелів для ГРП:

- на водній основі (лінійні гелі, зшиті гелі);
- на нафтовій основі;
- багатофазні рідини ( піни, CO<sub>2</sub>, бінарні піни);
- ПАР;
- на спиртовій основі.

Широке застосування отримали рідини для ГРП на водній основі. Вода є легкодоступною і дешевою основою, але її здатність нести пропант дуже низька. Рішення проблеми було знайдено з застосуванням загусників, що підвищують в'язкість рідин.

Типовими полімерами, що використовуються в якості гелеутворювачів в рідинах для гідророзриву на водній основі, є гуар, похідні гуара і похідні целюлози. До з'єднання з водою молекула полімеру має згорнуту структуру, при взаємодії з водою (гідратації) вона розгортається, утворюючи лінійну структуру. Це неньютонівська псевдопластична рідина. В'язка рідина, що утворюється при додаванні до води полімерів без використання зшиваючих добавок, називається **лінійним гелем**.

Для суттєвого збільшення уявної (ефективної) в'язкості і пружних властивостей рідини використовують **зшитий гель**, який утворюється, коли лінійний полімер реагує із сполуками металів, такими як борати, титанати або цирконати. Сполуки металів зв'язують молекули полімеру з довгим ланцюгом між собою, утворюючи тривимірні структури. Такі рідини здатні утримувати пропант в підвішеному стані, однак, при досягненні пластової температури в'язкість їх знижується.

Перевагами рідин на водній основі є невелика вартість в порівнянні з іншими типами рідин, створення великого гідростатичного ефекту, легко доступність та легкість зшивання контролювання.

*В'язкість рідини* характеризує її можливість надавати опір руху. В'язкість контролює ширину тріщини в привибійній зоні і впливає на перенесення пропанту.

*Витік рідини* визначає кількість флюїду в тріщині і впливає на геометрію тріщини.

*Густина рідини ГРП* визначає гідростатичний градієнт і також впливає на перенесення пропанту.

*Тертя* впливає на робочий устьовий тиск і швидкість закачування.

*Рівень рН рідини* контролює реакції зшивання і впливає на інші властивості рідини ГРП.

*Стабільність рідини* характеризується часом руйнування зшитого гелю та стабільністю реологічних властивостей у часі. Встановлення правильного часу руйнування гелю дозволяє підвищити швидкість очищення і ефективність робіт з гідророзриву.

Окремо розглянемо найважливіші властивості рідин, пов'язані з течією і деформацією, які називаються реологічними. Вони характеризуються певними величинами, що не залежать від умов їх вимірювання і конструкції вимірювальних приладів. Такі величини називаються реологічними константами.

Закон в'язкої течії рідин Ньютона говорить: «Сила внутрішнього тертя, що з'являється під час взаємного переміщення шарів рідини відносно одна одної, прямо пропорційна градієнту відносної швидкості цього переміщення і площині поверхні шарів».

Математично закон записується так:

$$F = \eta S \frac{dw}{dn}, \quad (2.1)$$

де  $F$  – сила тертя, що діє на поверхню шару рідини в напрямку проти-  
лежному його руху;

$W$  – відносна швидкість переміщення (швидкість зсуву) двох шарів  
 $S$ , що знаходиться на відстані  $n$ ;

$\eta$  – динамічна (дійсна або ефективна) в'язкість рідини;

$\frac{dw}{dn}$  – градієнт швидкості зсуву,  $c^{-1}$ ;

або:

$$\tau = \eta \frac{dw}{dn}, \quad (2.2)$$

де  $\tau$  – дотична напруга,  $H/m^2$ .

Рідини, для яких діє цей закон, називаються ньютонівськими  
рідинами.

Неньютонівська рідина – модель рідини, що являє собою суціль-  
не рідке тіло, для якого дотичні напруги внутрішнього тертя, спри-  
чиненого відносним зсувом шарів рідини описуються нелінійно залеж-  
ністю від градієнта швидкості зсуву. Особливість не ньютонівських  
рідин полягає у залежності параметра в'язкості від градієнту швид-  
кості. До цих рідин і відносяться гелі.

Закон течії таких рідин може бути виражений рівнянням:

$$\tau = \tau_0 + \eta_{пл} \frac{dw}{dn}, \quad (2.3)$$

де  $\tau_0$  – гранична динамічна напруга зсуву,  $H/m^2$ ;

$\eta_{пл}$  – пластична в'язкість,  $mPa \cdot c$ ;

$\frac{dw}{dn}$  – градієнт швидкості зсуву,  $c^{-1}$  (обертів/).

Реологічні властивості неньютонівських структурованих рідин  
визначаються наступними показниками: граничною динамічною і  
статичною напругою зсуву, пластичною та ефективною в'язкістю.

**Гранична динамічна напруга зсуву** – це умовна величина, що  
характеризує міцність структурної сітки, яку необхідно зруйнувати  
для забезпечення руху рідин. Воно не залежить від дотичних напруг  
(тиску прокачування) і збільшується зі збільшенням в'язкісного  
опору.

Гранична динамічна напруга зсуву майже завжди більше ста-  
тичної, особливо в розчинах з великим вмістом високо колоїдних  
фракцій, якими є гелі.

Пластична в'язкість – це умовна величина, що характеризує в'язкісний опір течії рідини. Вона не залежить від дотичних напружень (тисків прокачування).

Динамічна напруга зсуву та пластична в'язкість є поняттями умовними, що не мають певного фізичного змісту. Ці величини неможливо виміряти безпосередньо якимось прикладом. Вони можуть бути визначені, графічно або розрахунковим шляхом.

Ефективна в'язкість характеризує суму в'язкісного та міцносного опорів течії рідини. З усіх розглянутих реологічних показників вона є найбільш важливими. Ефективна в'язкість знижується зі збільшенням дотичних напруг (тиску прокачування). Величина її зручна для контролю за параметрами рідин при високих температурах. Для порівняння з нею використовують цю ж величину, виміряну при нормальній температурі. На відміну від граничної динамічної напруги зсуву і пластичної в'язкості, вона має реальний фізичний зміст. Величину ефективної в'язкості отримують графічним або розрахунковим шляхом.

Для визначення реологічних констант неньютонівських рідин найчастіше використовують ротаційний метод.

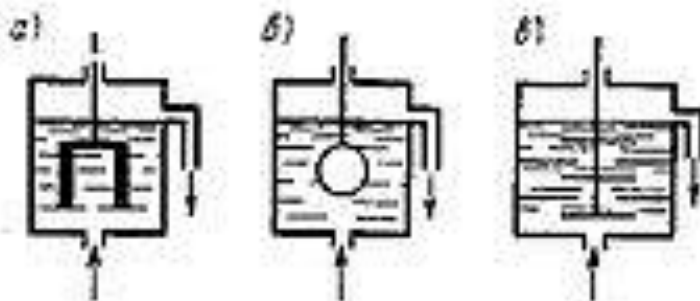


Рис. 1 – Схеми ротаційних віскозиметрів

Ротаційний метод побудований на вимірюванні обертового моменту  $M$ , який виникає на осі ротора (циліндра, диска і т.д.), зануреного у вимірювальне середовище, при взаємному ї переміщенні.

В одному із основних варіантів методу шар досліджуваної рідини висотою  $H$  перебуває між двома коаксіальними (ті, що мають спільну вісь обертання) циліндрами, які обертаються один щодо іншого.

Якщо обертається зовнішній циліндр, то такі віскозиметри називаються віскозиметрами Куетта. Ці віскозиметри особливо зручні для

вивчення змін в'язкості у часі, які особливо часто спостерігаються у колоїдних системах. Зовнішній циліндр, що обертається містить рідину, а менший внутрішній циліндр, підвішений в рідині на тонкій пружині. Кут закручування ( $\varphi$ ) внутрішнього циліндра в результаті обертання зовнішнього циліндра вимірюється за градуйованою шкалою за допомогою променя світла, що відкидається від дзеркала, прикріпленого до кінця пружини.

В наступних лабораторних роботах використовуються два типи віскозиметрів Куетта: віскозиметр типу Fann 35 та реометр типу PVS Brookfield.

Віскозиметр Fann відомі як стандарт в індустрії вимірювання в'язкості. Компанія Fann випускає серію повнофункціональних циліндричних коаксіальних ротаційних віскозиметрів Куетта - Fann 35 (Рис. 2).

У віскозиметрах Fann рідина, що піддається випробуванню, знаходиться в кільцевому просторі – зсувному проміжку – між двома коаксіальними циліндрами. Обертання зовнішнього циліндра віскозиметра задається через пристрій регулювання частоти обертання електродвигуна з певною швидкістю.



**Рис. 2.** - Віскозиметр типу Fann 35, комплектується ротором, балансиrom, торсіонною пружиною

В'язкісний опір рідини створює момент на внутрішньому вимірювальному циліндрі. Цей момент передається на пружину віскозиметра, кут відхилення якої вимірюється і коригується з урахуванням умов випробування і констант приладу.

Реометр типу PVS Brookfield (Рис.3) призначені для вимірювання реологічних констант рідин. Принцип роботи реометра заснований на вимірюванні крутного моменту, створюваного в'язкісним опором рідини, що знаходиться в кільцевому просторі між нерухожим шпинделем і зовнішнім циліндром, що обертається. Вимірювання крутного моменту визначається датчиком кута обертання згідно закручуванню вимірювальної пружини.

Віскозиметри оснащуються сенсорним дисплеєм, за допомогою якого здійснюється управління, введення даних і виведення результатів вимірювань. Віскозиметри оснащені стандартними інтерфейсами на USB Flash drive накопичувачах. Віскозиметри Брукфільда оснащені спеціально розробленим вбудованим програмним забезпеченням, яке проводить розрахунок реологічних констант в залежності від вимірюваного крутного моменту.



**Рис 3** - Реометр типу PVS Brookfield, комплектується з вибором шпинделя, мірної чашки, програмного забезпечення та комп'ютера

В таких віскозиметрах реологічні константи розраховуються за наступними формулами:

**Гранична динамічна напруга зсуву:**

$$\tau_0 = A\varphi, \quad (2.4)$$

де  $A$  – константа прилада ( вказана в паспорті);

$\varphi$  – кут закручування, градуси ( визначаються за графіком).

### **Пластична в'язкість:**

$$\eta_{\text{пл}} = B \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{n}, \quad (2.5)$$

де  $\eta_{\text{пл}}$  – пластична в'язкість, мПа·с;

$B$  – константа прилада (вказана в паспорті);

$\varphi_1$  і  $\varphi_2$  – кути закручування, градуси (визначаються за графіком);

$n$  – швидкість зсуву (частота обертання), об/хв..

### **Ефективна в'язкість:**

$$\eta = B \frac{\varphi_2}{n}, \quad (2.6)$$

де  $\eta$  – ефективна в'язкість, мПа·с;

## **Лабораторна робота № 1 ПРИГОТУВАННЯ ГЕЛЮ ГРП**

**Ціль роботи** – приготування рідини гідророзриву (так званого зшитого гелю).

### **1.1. Засоби вимірювання, апаратура, матеріали та допоміжні пристрої:**

- блендер з контейнером (стакан з поділками з поліпропілену);
- баня водяна, що забезпечує нагрів і підтримання температури в заданому діапазоні; діапазон робочої температури ( $T_{\text{зовн}} + 5$ ) ÷ 90°C;
- плитка нагрівальна лабораторна;
- ваги лабораторні та набір гир, не нижче 2-го класу точності;
- рН-метр любого типу (рис. 1.1);
- віскозиметр типу Fann35;
- секундомір з межами вимірювання 0-60 хв, 2-го класу точності;
- термометр лабораторний ТЛ-2 з межами вимірювань 0-100°C;
- стакани скляні термостійкі зі шкалою місткістю 1000 см<sup>3</sup>;
- стаканчики мірні для зважування (бюкси) 34/12 та 45/13;
- шприци медичні місткістю 1 см<sup>3</sup> та 2 см<sup>3</sup>;
- ложка порцелянова;
- вода дистильована;



Рис. 1.1. - рН-іономір И-160 МИ  
1- термодатчик; 2- рН-електрод; 3-електрод порівнювання;  
4-штатив

- гелеутворювач гуамін HV;
- зшивач уповільненої дії Atren D-BCL;
- зшивач Fore BC-D2;
- ПАР-регулятор деструкції;
- деструктор капсульований;
- ХВ деструктор;
- біоцид Біолан;
- стабілізатор глини FCS-1.

## **1.2 Склад та порядок додавання реагентів для гелю ГРП на 1 л дистильованої води:**

1. «Біолан» (біоцид - призначений для боротьби зі шкідливими бактеріями) 0,1 мл;
2. Гуамін HV 2,6 г;
3. ПАР-регулятор деструкції 2мл;
4. Стабілізатор глини FCS-1 2мл;
5. ХВ деструктор 0,4-0,75 г;
6. Деструктор капсульований 0,8-1,1 г;
7. Зшивач уповільненої дії atren D-BCL 1 мл;
8. Зшивач Fore BC-D2 2мл;
9. Пропант.

## 1.3 Хід роботи

### 1.3.1. Приготування лінійного гелю.

1.3.1.1. Помістити  $1000 \text{ см}^3$  дистильованої води у скляний стакан, встановити його на лабораторну плитку та нагріти воду до  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ , вимірюючи температуру за допомогою лабораторного термометру.

1.3.1.2. Виміряти рН дистильованої води за допомогою рН-метра згідно інструкції з його експлуатації. Вода повинна мати рН в межах 5,4-6,6, якщо рН виходить за межі норми, в цьому випадку потрібно збільшити кількість інгредієнтів .

1.3.1.3. Перелити нагріту воду в контейнер блендеру.

1.3.1.4. Додати до дистильованої води  $0,1 \text{ см}^3$  біолана за допомогою медичного шприца місткістю  $1 \text{ см}^3$ , перемішати на низькій швидкості на протязі 20-30 сек та виміряти рН.

1.3.1.5. Відважити 2,6 г гуаміну у стаканчик для зважування, висипати його у рідину в контейнері блендеру та перемішати 10-15 хв. щоби не було комків. Виміряти рН утвореної рідини.

1.3.1.6. Додати до вмісту контейнеру  $2 \text{ см}^3$  ПАР- деструктора за допомогою медичного шприца місткістю  $2 \text{ см}^3$  та перемішати на низькій швидкості на протязі 20-30 сек. Виміряти рН рідини.

1.3.1.7. Додати до утвореної рідини  $2 \text{ см}^3$  стабілізатора глин за допомогою медичного шприца місткістю  $2 \text{ см}^3$  та перемішати на низькій швидкості на протязі 20-30 сек. Виміряти рН утвореного лінійного гелю.

1.3.1.8. Виключити блендер, налити  $300 \text{ см}^3$  гелю до стакану віскозіметра Fann35 , встановити стакан віскозіметра на предметний столик, включити швидкість обертання 300 об/хв та виміряти в'язкість лінійного гелю.

### 1.3.2. Приготування зшитого гелю.

1.3.2.1. Відважити 0,4-0,75 г ХВ деструктору та 0,8-1,1 г деструктору капсульованого у стаканчики для зважування.

1.3.2.2. Відрегулювати швидкість блендеру так, щоб утворилася воронка з рідини та було видно лезо блендеру. Одночасно додати ХВ деструктор, деструктор капсульований, за допомогою медичних шприців додати  $1 \text{ см}^3$  зшивачу уповільненої дії atren D-BCL та  $2 \text{ см}^3$  зшивачу Fore BC-D2 та одночасно з цим ввімкнути секундомір для визначення часу повного зшивання гелю.

1.3.2.3. Коли воронка «закриється», зафіксувати за допомогою секундоміру час початку зшивання гелю та вимкнути блендер. Секундомір не вимикати та продовжити відлік часу.

1.3.2.4. Взяти стакан місткістю 1000 см<sup>3</sup> та почати переливати гель з контейнеру блендера до стакану та зворотньо до повного зшивання гелю. Повне зшивання гелю контролювати візуально – зі стакану гель повинен витікати одним суцільним «язиком» та при струшуванні стакану повертатися назад у стакан.

1.3.2.5. Вимкнути секундомір. Час від включення до вимкнення секундоміра є часом повного зшивання гелю\*.



**Рис 1.1-**Лінійний та зшитий гелі

---

\* При використанні рідин з керованим зшиванням поперечні зв'язку утворюються з затримкою, як правило, не більше ніж на 1/2 часу закачування від гирла до пласта. Закачування такої рідини вимагає значно меншої енергії. Для досягнення необхідного часу уповільнення може також використовуватися подвійна система зшивання при якій використовуються два види зшивачів, уповільнений і не уповільнений в певних пропорціях

## Лабораторна робота № 2

# ВИЗНАЧЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗШИТОГО ГЕЛЮ

**Ціль роботи** – визначення швидкості зсуву, напруги зсуву та ефективної (динамічної) в'язкості зшитого гелю.

### 2.1. Засоби вимірювання, апаратура, матеріали та допоміжні пристрої

- гель зшитий 12,5 см<sup>3</sup>;
- циліндр мірний місткістю 25 см<sup>3</sup>;
- реометр типу PVS Brookfield.

### 2.2. Хід роботи

2.2.1. Нагріти суховоздушну баню реометру до заданої температури (пластова температура).

2.2.2 Відміряти 12,5 см<sup>3</sup> зшитого гелю за допомогою мірного циліндру та вилити в чашу пристрою.

2.2.3. Ввімкнути програму управління реометром та на вкладці Quick test обрати та запустити на виконання програму дослідження Sheer test. Ця програма дослідження складається з визначення швидкості зсуву за схемою: 5 хв.-500 обертів, 5хв. -100 обертів, 5 хв. - 500 обертів, 5 хв.- 100 обертів. Після чого програма буде графік залежності для аналізу

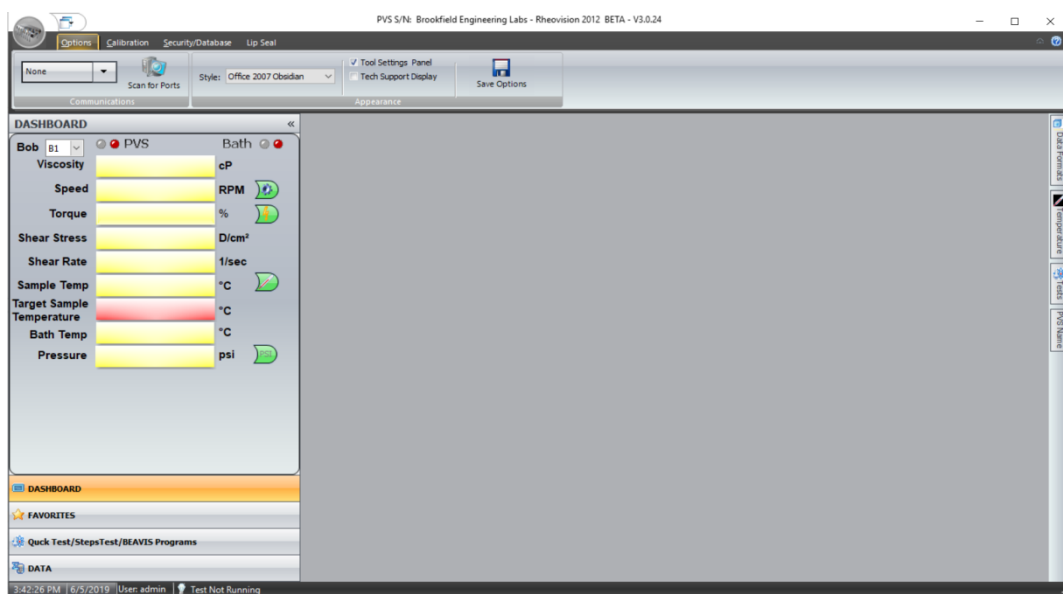


Рис. 2 – Головне вікно програми для виконання тесту

2.2.4. Вимкнути пристрій, розібрати та промити прилад.

2.2.5 За графіком проаналізувати властивості зшитого гелю.

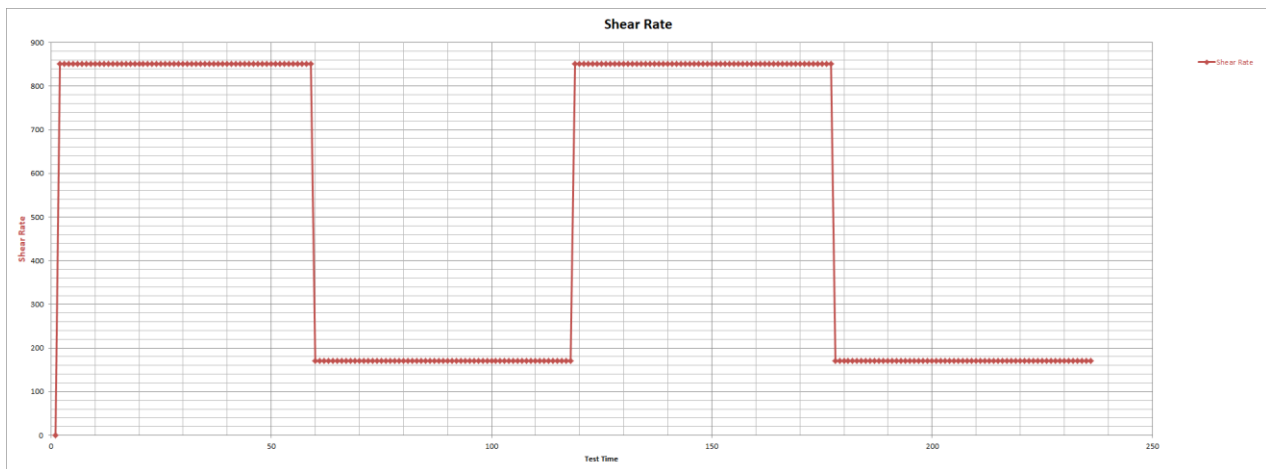


Рис 3 – Приклад графіка для аналізу після тесту

### Лабораторна робота № 3 ТЕСТ НА РУЙНУВАННЯ ГЕЛЮ

**Ціль роботи** – визначення часу руйнування зшитого гелю.

#### 3.1. Терміни та визначення

Необхідно контролювати час руйнування зшитого гелю для того, щоб бути впевненим у його стабільності та ефективності. Встановлення правильного часу руйнування гелю дозволяє підвищити швидкість очищення і ефективність робіт по гідророзриву. Контрольоване руйнування гелю зазвичай визначає стабільність рідини.

#### 3.2. Засоби вимірювання, апаратура, матеріали та допоміжні пристрої

- баня водяна, що забезпечує нагрів і підтримання температури в заданому діапазоні; діапазон робочої температури ( $T_{\text{зовн}}$ )+5÷90°C;
- термостійкий стакан (ємність для нагрівання) місткістю 1000 см<sup>3</sup>;
- зшитий гель 0,5л;
- таймер;
- рукавиці захисні.

### 3.3. Хід роботи

3.3.1 Нагріти водяну баню до заданої температури (пластова температура).

3.3.2. Помістити 0,5 л зшитого гелю в ємність для нагрівання та поставити у водяну баню, увімкнути таймер.

3.3.3 Періодично за допомогою захисних рукавиць відкривати водяну баню та перевіряти вміст ємності з гелем. Час, за який зшитий гель перетвориться на рідину, є часом повного руйнування гелю.

## Лабораторна робота № 4 ТЕСТ НА СТАБІЛЬНІСТЬ ГЕЛЮ ГРП

**Ціль роботи** – визначення стабільності реологічних властивостей (в'язкості та швидкості зсуву) гелю в часі.

### 4.1. Терміни та визначення

**Абсолютна в'язкість** - це відношення напруги зсуву, поділене на швидкість зсуву. Для ньютонівської рідини абсолютна в'язкість не залежить від швидкості зсуву. Для неньютонівської рідини абсолютна в'язкість є функцією швидкості зсуву під час вимірювання напруги зсуву. Потім цю в'язкість називають уявною в'язкістю, і швидкість зсуву повинна вказуватися як частина набору даних.

**Стабільність рідини** для гідророзриву означає тривалість часу, протягом якого рідина залишається в гелеподібному стані після зв'язки її молекулярних ланцюгів.

### 4.2. Засоби вимірювання, апаратура, матеріали та допоміжні пристрої

- гель зшитий 12,5 см<sup>3</sup>;
- реометр типу PVS Brookfield;
- мірний циліндр місткістю 25 см<sup>3</sup>.

### 4.3. Хід роботи

4.3.1. Нагріти суховоздушну баню реометру до заданої температури (пластова температура).

4.3.2 За допомогою мірного циліндру відміряти 12,5 мл зшитого гелю та вилити в чашу пристрою.

4.3.3. Ввімкнути програму управління реометром та задати параметри тестування: швидкість обертання (100 RPM (об/хв)) і температуру нагрівання (до заданої пластової температури) на 1 год.

4.3.4. Вимкнути пристрій, розібрати та промити прилад.

4.3.5 За побудованим програмою графіком проаналізувати стабільність реологічних параметрів (в'язкість та швидкість зсуву) – графік повинен бути прямий.

### **Використана література**

1. ГОСТ Р 51761-2013 Пропанты алюмосиликатные. Технические условия. Москва: АО «Кодекс», 2014 – 40с

2. Recommended Practices on measuring the viscous properties of a Cross-linked Water-based Fracturing fluid/ API recommended practice 39/Third edition, May 1998 - 25p.

3.API Recommended practices for Laboratory testing of surface active agents for well stimulation/ API recommended practice 42/Second edition/ Jenuary 1977- 15p.

## ЗМІСТ

Вступ.....	3
Вимоги безпеки під час роботи .....	3
1. Комплект лабораторних робіт з тестування пропантів.....	13
Теоретичний матеріал.....	13
Лабораторна робота № 1 .....	15
Визначення гранулометричного складу пропанту та масової частки гранул основної фракції.....	15
Лабораторна робота № 2 .....	18
Визначення сферичності і округлості гранул пропанту .....	18
Лабораторна робота № 3 .....	21
Визначення розчинності пропанту в кислотах .....	21
Лабораторна робота № 4 .....	24
Визначення мутності.....	24
Лабораторна робота № 5 .....	28
Визначення насипної щільності пропанту .....	28
Лабораторна робота № 6 .....	32
Визначення опору руйнування пропанту .....	32
2. Комплект лабораторних робіт з тестування гелів .....	36
Теоретичний матеріал.....	36
Лабораторна робота № 1 .....	43
Приготування гелю ГРП.....	43
Лабораторна робота № 2 .....	47
Визначення реологічних властивостей зшитого гелю .....	47
Лабораторна робота № 3 .....	48
Тест на руйнування гелю.....	48
Лабораторна робота № 4 .....	49
Тест на стабільність гелю ГРП .....	49
Використана література.....	50

Навчальне видання

## **ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ**

**з курсу**  
**«ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПІДЗЕМНИЙ РЕМОНТ**  
**СВЕРДЛОВИН»**

для студентів спеціальності  
185 Нафтогазова інженерія та технології

*Під редакцією доктора технічних наук,  
професора І.М. Фика*

Укладачі: Римчук Д.В.  
Бурова М.Я.  
Тищенко О.В.  
Кущ А.І.,  
Пономаренко В.В.,

Відповідальний за випуск \_\_\_\_\_

В авторській редакції