

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра екології та природозахисних технологій

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

за спеціальністю 183 „Технології захисту навколишнього середовища”

Тема роботи: Аналіз технологій очищення попутних нафтових газів від сірковмісних сполук

Виконав:  
студент Білогур Андрій  
Олександрович

Залікова книжка  
№ \_\_\_\_\_

Підпис \_\_\_\_\_

Захищена з оцінкою  
\_\_\_\_\_

оцінка, дата

Керівник:  
к.т.н., ст. викл. Аблєєва І.Ю.

Підпис \_\_\_\_\_

дата, підпис

Консультант з охорони праці  
к.т.н., доцент Васькін Р.А.

Підпис \_\_\_\_\_

Секретар ЕК  
Васькіна І.В.

прізвище, підпис

Суми 2021

# СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра екології та природозахисних технологій  
Спеціальність 183 „Технології захисту навколишнього середовища”

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Зав. кафедрою \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студенту \_\_\_\_\_ Білогуру Андрію Олександровичу \_\_\_\_\_ Група ТС-71  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Аналіз технологій очищення попутних нафтових газів від сірковмісних сполук
2. Вихідні дані Якісний та кількісний склад пилогазових викидів, що надходять до атмосферного повітря від попутних нафтових газів. Якість товарного нафтового газу. Утилізація елементарної сірки викидів.
3. Перелік обов'язково графічного матеріалу:
  1. Технологічні схеми очищення попутних нафтових газів від сульфур (IV) оксиду.
  2. Технології очищення викидів в атмосферне повітря від сірководню.

4. Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

№	Етапи і розділи проектування	ТИЖНІ					
		1	2	3	4	5	6
1	Літературний огляд	+	+				
2	Аналіз проблеми			+			
3	Оброблення результатів				+		
4	Розділ з охорони праці					+	
5	Оформлення роботи						+

5. Дата видачі завдання 26 березня 2021 р.

Керівник \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ к.т.н., ст. викл. Аблєєва І.Ю.

## РЕФЕРАТ

*Структура та обсяг випускної кваліфікаційної роботи бакалавра.* Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилання, який містить 35 найменувань. Загальний обсяг бакалаврської роботи становить 47 с., у тому числі 2 таблиці, 10 рисунків, перелік джерел посилання 5 сторінки.

*Мета роботи* – дослідження методів та напрямків очистки попутніх нафтових газів від сірковмісних сполук.

Для досягнення зазначеної мети було поставлено та вирішено такі *завдання*:

- дослідити особливості утворення попутніх нафтових газів;
- ознайомитися з існуючими методами очистки нафтових газів від сірководню;
- ознайомитися з існуючими методами очистки нафтових газів від сульфур (IV) оксид;
- провести технологічний розрахунок установки очистки попутніх нафтових газів від сірковмісних сполук.

*Об'єкт дослідження* – методи очистки попутніх нафтових газів від сірковмісних сполук.

*Предмет дослідження* – сірковмісні сполуки у складі попутніх нафтових газів.

*Ключові слова:* ВИКИДИ, ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА, СІРКА, СІРКОВОДЕНЬ, СУЛЬФУР (IV) ОКСИД, ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ.

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
Розділ 1 Забруднення атмосферного повітря попутним нафтовим газом.....	7
1.1 Екологічна характеристика (склад) попутного нафтового газу.....	7
1.1.1 Небезпека від сірководню для навколишнього середовища.....	8
1.1.2 Небезпека від сульфур (IV) оксиду для довкілля.....	9
1.2 Аналіз проблеми утилізації попутного нафтового газу та огляд існуючих технологій.....	9
1.3 Літературно-патентний пошук способів очищення газів від сірководню.....	11
1.4 Літературно-патентний пошук способів очищення газів від сульфур (IV) оксиду.....	12
1.5 Постановка завдань дослідження.....	13
Розділ 2 Об'єкт та методи дослідження.....	14
2.1 Процес очищення попутного нафтового газу як об'єкт дослідження.....	14
2.2 Класифікація процесів десульфкризації відхідних промислових газів.....	14
2.3 Опис екологічно безпечного технологічного процесу очищення газів від сірководню.....	26
Розділ 3 Технологічні та екологічні аспекти очищення попутного нафтового газу.....	28
3.1 Розрахунок конструкційних параметрів процесу абсорбції.....	28
3.1.1 Маса речовини, що поглинається та витрата абсорбенту.....	28
3.1.2 Рухома сила масопередачі.....	29
3.1.3 Коефіцієнт масопередачі.....	30
3.1.4 Швидкість газу та діаметр абсорбера.....	31

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	Підп. і дата
Інв.№лодл.	Інв.№лодл.

**ПЕК 6.00.00.00 ПЗ**

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		Літ.	Аркуш	Аркушів
		Білогур			Аналіз технологій очищення попутних нафтових газів від сірковмісних сполук			
		Аблєва					4	47
		Васькін				СумДУ, ф-т ТеСЕТ гр. ТС-71		
		Пляцук						

3.1.5 Густина зрощення та активна поверхня насадки .....	31
3.1.7 Поверхня масопередачі та висота абсорбера.....	35
3.1.8 Гідравлічний опір абсорберу .....	36
Розділ 4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях .....	38
4.1 Правила безпеки під час експлуатації посудин, що працюються під тиском.	38
4.2 Порядок дій у разі виникнення пожежі на об'єктах промисловості .....	40
Висновок .....	42
Перелік джерел посилань .....	43

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	ТС 18510265	Арк
						5
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Попутній нафтовий газ – це суміш вуглеводнів з найменшою молекулярною масою. До складу нафтового газу входить метан, бутан, етан, тощо. Нафтовий газ є досить цінним ресурсом через свій склад, оскільки являється потенційною сировиною для виробничих процесів, інший напрямок використання – у якості пального.

Однак, до складу нафтового газу, окрім цінних вуглеводневих сполук, входять також забруднюючі речовини, типу сірководню та сульфур (IV) оксиду. Тому, перед подальшим його використанням постає питання очистки попутного нафтового газу.

**Метою роботи** є дослідження методів та напрямків очистки попутніх нафтових газів від сірковмісних сполук.

### **Завдання, що були поставлені:**

- дослідити особливості утворення попутніх нафтових газів;
- ознайомитися з існуючими методами очистки нафтових газів від сірководню;
- ознайомитися з існуючими методами очистки нафтових газів від сульфур (IV) оксид;
- провести технологічний розрахунок установки очистки попутніх нафтових газів від сірковмісних сполук.

**Об'єктом роботи** методи очистки попутніх нафтових газів від сірковмісних сполук.

**Предметом роботи** сірковмісні сполуки у складі попутніх нафтових газів.

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата						Арк
					ТС 18510265					6
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

# РОЗДІЛ 1 ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ПОПУТНИМ НАФТОВИМ ГАЗОМ

## 1.1 Екологічна характеристика (склад) попутного нафтового газу

Нафтогазове виробництво характерне тим, що на всіх його стадіях здійснюється шкідливий вплив на навколишнє середовище загалом, і на всі його сфери зокрема. Перед підприємствами нафтогазового комплексу постає завдання щодо здійснення превентивних заходів, пов'язаних із запобіганням забрудненню довкілля та раціональним використанням природних ресурсів.

Завдяки наявності сірки в нафті в технологічному процесі її стабілізації, дегазації та транспортуванні утворюються та можуть викидатися в атмосферне повітря різні за номенклатурою сульфурвмісні органічні та неорганічні сполуки, серед яких переважно меркаптани і сірководень. Сірководень є найбільш поширеним із токсичних компонентів нафти, газу і газового конденсату. Монтаж дорогих установок для абсорбції сірководню з нафти, газу і нафтопродуктів (НП) часто не ефективний через його низьку концентрацію. У зв'язку з цим найбільш прийнятним способом видалення сірководню є застосування поглиначів, призначених для його хімічного зв'язування у період транспортування і зберігання вуглеводнів [1].

Природний газ містить у своєму складі метан, який становить його основу (близько 85 %), і більш важкі вуглеводні, такі як етан, пропан, бутан й ізобутан. Також міститься низка інших домішок неорганічного походження, так званих кислих газів – діоксиду вуглецю і сірководню. Ці домішки повинні бути видалені з газу перед його подальшим використанням, так як вони знижують технологічні характеристики продукту, такі як реакційна здатність, і мають потужний корозійний ефект, що призводить до руйнування труб і апаратів [2].

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№ Інв.№дубл.	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 18510265	Арк
						7

У промислових умовах за існуючої технології сірководень зазвичай видаляється з нафти разом із газом під час сепарації. При цьому можливі варіанти:

- залишковий вміст сірководню в нафті після сепарації відповідає вимогам ДСТУ на товарну нафту;
- залишковий вміст сірководню у нафті після сепарації перевищує встановлені нормативні показники, тому необхідне подальше віддування сірководню чистим газом або його нейтралізація.

Для задоволення вимог охорони навколишнього середовища в першому випадку необхідне очищення попутного нафтового газу від сірководню і меркаптанів. У другому випадку необхідне очищення і попутного газу, і нафти. Водночас варіант хімічної нейтралізації сірководню дозволяє досягти більш глибокого очищення газоподібної та рідкої вуглеводневої сировини [3].

Особливо гостро стоїть питання утилізації попутного нафтового газу (ПНГ), тому що зараз він або викидається в атмосферу, або спалюється в пальниках, не приносячи при цьому практичної користі. Одним із найбільш раціональних варіантів утилізації вологого непідготовленого ПНГ на малодобітних родовищах є використання газотурбінних установок (ГТУ) для отримання електричної та теплової енергії [4].

#### 1.1.1 Небезпека від сірководню для навколишнього середовища

Сірководень є досить токсичною і небезпечною речовиною, як для людини, так і для навколишнього середовища. Так, концентрація сірководню у повітрі понад 0,8 мг/л спричинює тяжкі отруєння людського організму.

У воді, допустимий вміст сірководню становить 0,05 мг/л. При отруєнні сірководнем спостерігається ураження слизових оболонок, дихальних систем та органів зору.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№ Інв.№дубл.	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 18510265

Арк  
8



Негативний вплив сірководню на довкілля проявляється у порушеннях природних процесів колообігу елементів по порушенні процесів метаболізму живих організмів (пригніченні роту, ураженням органів, тощо).

### 1.1.2 Небезпека від сульфур (IV) оксиду для довкілля

Сульфур (IV) оксиду представляє собою безбарвний газ з різким запахом. Є токсичним для організму людини. При концентрації в повітрі понад 0,33 мг/м<sup>3</sup> викликає порушення роботи органів дихання (задишка та запалення легені).

Негативний вплив на рослинний і тваринний світ проявляється порушеннях розвитку та функціонування організму. Наприклад, у дерев, при високих концентраціях сульфур (IV) спостерігається хлороз та карликовість.

Сульфур (IV) оксиду є причиною кислотних дощів.

## 1.2 Аналіз проблеми утилізації попутного нафтового газу та огляд існуючих технологій

Попутній нафтовий газ - це суміш вуглеводнів найменшої молекулярної маси (метан, етан, пропан, бутан та ін.). Попутній газ виділяють з пластової води шляхом сепарації. ПНГ має широкі напрямки для використання, наприклад у якості палива, або бути сировиною для синтезі різних елементів чи речовин.

Процеси сепарації пластової води можуть починатися на насосно-компресорних трубах нафто-газових свердловин. Під час подальшого руху суміші по трубопроводах іде процес виділення ПНГ. Результатом зміни тиску та температури є розділення пластової води на водну фазу та нафтовий газ.

На установках попередньої підготовки вуглеводній передбачено встановлення сепараторів для розділення вказаної вище суміші. Так, після сепаратора пластова вода іде по одному трубопроводу, а ПНГ – по іншому. Це

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ТС 18510265

Арк  
9

зумовлено тим, що сумісне їх транспортування є економічно недоцільним та неефективним в розрізі виробництва.

На сьогодні, виділення ПНГ з пластової води та вуглеводнів типу нафти/газу відбувається у декілька етапів, оскільки це досить складний і затратний процес. З цією метою на підприємствах комплексної підготовки вуглеводнів використовують сепаратори різної конструкції. При цьому, процеси відокремлення проходять у декілька етапів, що дозволяє отримати більш цінний кінцевий продукт. Кількість етапів сепарації залежить від параметрів вуглеводнів, що видобуваються, умов технологічного процесу та вимог, що виставляються до кінцевого продукту.

Для прикладу ефективності застосування багатоступінчатої сепарації можна навести родовища легкої нафти з високими газовими факторами. Тут, можливість регулювати тиск та температуру сприяють більш повному й ефективнішому процесу відділення нафти та ПНГ. Слід зауважити, що в таких системах тиск на попередньому етапі сепарації завжди вищий чим на наступному. Параметри роботи системи, в даному випадку значення тиску на сепараторах, залежать від ряду факторів, що були враховані на етапі розробки родовища. Кількість ступенів сепарації залежить від об'єму вуглеводнів, що планують видобуватися.

Важливою умовою проведення процесу відокремлення ПНГ є повна герметичність усіх систем. У протилежному випадку, будуть присутні втрати легких вуглеводнів нафти та нафтопродуктів. На першому етапі багатоступеневої сепарації, газ перших ступенів може подаватися споживачеві з власним тиском. На наступних етапах, вміст важких газів зменшується, що знижує ймовірність випадання газового конденсату під час транспортуванні.

На практиці, найбільш ефективним є застосування трьох-ступінчатої сепарації. Такий вибір зумовлений рядом факторів, а саме: економічною ефективністю, зручності обслуговування та облаштування поблизу родовищ установок утилізації ПНГ. Отриманий на першому етапі сепарації газ, з власним

Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	Інв.№подл.

тиском, подається на задоволення власних потреб ділянки (опалення побутових приміщень, робота обладнання, тощо). Газ, отриманий на наступних етапах сепарації потребує додаткового очищення та підготовки.

На виробництві не завжди можливим є дотримання найбільш оптимальних умов сепарації, за якої б втрат нафти були б мінімальними. Основними факторами при виборі умов сепарації є:

1. Максимально можливий вихід нафти з одиниці суміші;
2. Максимальний вміст важких вуглеводнів в газі сепарації.

У процесі транспортування газу на газопроводах можливе утворення концентрату (рідкої фази). З метою попередження такого процесу, ПНГ може бути покращений шляхом застосування технології розділення вуглеводнів. Для цього різні методи, але найбільш поширеним є метод низькотемпературної сепарації (Дросель ефект). Суть методу полягає в теплообміні між гарячим і холодними потоками газу в системі.

Вибір методу утилізації ПНГ базується на фізико-хімічному складі цього газу, необхідною мірою сушки, рівнем вилученості добавок. У випадку «сухих» газів доцільним буде застосування адсорбційних та абсорбційних методів, в той час, як для «жирного» газу більш ефективними є низькотемпературні методи.

### 1.3 Літературно-патентний пошук способів очищення газів від сірководню

Усі методи очистки нафтового газу від сірководню, умовно, можна розділити на 3 напрямки: абсорбційні, адсорбційні та каталітичні.

Найбільш поширеними є абсорбційні методи, що однаково ефективні незалежно від початкового вмісту домішок. В якості абсорбент можуть виступати аміни, лужні розчини, метанол, тощо. Абсорбент виступає в якості каталізатору окислення сірководню в елементарну сірку.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№ Інв.№дубл.	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 18510265	Арк
						11

Адсорбційний метод базується на поглинання сірководню твердим тілом. Утримання сірководню на поверхні адсорбента відбувається шляхом протікання хімічних реакцій, або ж під дією фізичних сил. Найпоширенішими адсорбентами є активоване вугілля та цеоліти. Серед недоліків протікання процесу слід виділити високі експлуатаційні витрати та періодичність процесу.

Каталітичні методи ефективні у падку присутності у нафтовому газі сполук сірки, що можуть бути поглинуті рідкою або твердою фазою. Поширеним є метод каталітичного гідратування, коли сірководень поглинається воднем або водяною парою.

В якості прикладу, можна навести Локачинський газовий промисел НАК «НАФТОГАЗ УКРАХНИ», де для очищення ПНГ використовується адсорбційний метод. Технології очистки базується на використанні в якості адсорбенту синтетичного цеоліту UOP TYPE 5A та D-201, з такими параметрами протікання технологічного процесу: тиск – 2,9МПа, температура – 290-295 К. Регенерація цеоліту відбувається частинами під впливом високих температур (понад 500 К). Установа очистки ПНГ складається з трьох секцій: адсорбція, регенерація, охолодження. Така конструкція забезпечує безперервний перебіг процесу.

#### 1.4 Літературно-патенти пошук способів очищення газів від сульфур (IV) оксиду

Методи очистки нафтових газів від сульфур (IV) аналогічні до методами описаних вище: очистка газів базується на поглинанні сполук сірки твердою чи рідкою фазами. Різниця полягає у природі сорбційних матеріалів, адже ті, речовини, що можуть впитати на сірководень, можуть бути не ефективними коли мова йде про вловлення сульфур (IV) оксиду.

Найбільш популярними абсорбентами можна назвати сполуки кальцію (кальцію карбонат та гідроокид кальцію). Недолік їх затосування полягає у тому,

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 18510265	Арк
						12

що сполуки кальціє погано розчиняються у воді, від так, поглинання сполук сульфуру відбувається не рідкою фазою, а суспендованими частинками в ній. Отже, швидкість і інтенсивність перебігу реакцій залежить від швидкості розчинення абсорбенту. Проте їх основою перевагою є доступність та низька собівартість.

Також, у процесах хемосорбції сульфур (IV) застосовують водний розчин NaOH. В результат реакції утворюється сіль Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>

### 1.5 Постановка завдань дослідження

За результатами проведеного огляду літератури, визначено основні проблеми утилізації ПНГ та виділено основні чинники, що впливають на вибір методів утилізації. Таких чинника два: етап розробки родовища та характеристика газу. Було проаналізовано особливості процесу видобутку вуглеводнів та умови утворення нафтового газу, розглянуту і проаналізовано напрямки утилізації ПНГ, зокрема методи очистки нафтового газу від сірководню на сульфур (IV) діоксиду.

За результатами даного розділу були поставлені такі задачі:

- проаналізувати існуючі методи очистки сірковмісних сполук у нафтових газах;
- описати безпечний з екологічно точки зору метод очистки нафтових газів від сірководню;
- описати безпечний з екологічно точки зору метод очистки нафтових газів від сульфур (IV) оксиду.

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 18510265	Арк
						13

## РОЗДІЛ 2 ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Процес очищення попутного нафтового газу як об'єкт дослідження

Попутній нафтовий газ – це суміш вуглеводнів з найменшою молекулярною масою. Він має в своєму складі такі речовини як метан, бутан, етан, тощо. Такий склад нафтового газу робить його доволі цінним ресурсом. Нафтовий газ може бути паливом у процесах горіння або ж використовуватися в якості сировини для деяких виробничих процесів.

Слід зауважити, що до складу нафтового газу входять не лише ресурсоцінні компоненти, але й забруднюючі сполуки типу сірководню та сульфур (IV) оксиду. Через це, нафтовий газ потребує очищення перед своїм подальшим використанням.

### 2.2 Класифікація процесів десульфуризації відхідних промислових газів

На пунктах попередньої підготовки, де власне відбувається добування вуглеводній, нафтовий газ або спалюється на факелах або транспортується на газопереробний завод, де відбувається його попереднє підготівна. Певні фактори економіки, такі як актуалізація проблем екології та підвищення цінності газу, стимулюють пошук нових шляхів збору та утилізації попутного нафтового газу на усіх етапах видобутку та обробки вуглеводнів. В зв'язку з наведеними вище факторами, постає питання розробки нових технологічних схем видобутку та підготовки газу, які б включали збір та утилізацію попутного нафтового газу [5].

На сьогодні використовують наступні способи уловлення сірководню та сульфур (IV) оксиду:

- хемосорбція (взаємодія сірковмісних сполук з активною частиною абсорбенту);

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№ Інв.№дубл.	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ТС 18510265

Арк

14

- фізична абсорбція (розчинення сірковмісних сполук в певних органічних сполуках);
- комбіновані процеси (поєднання хімічних та фізичних методів);
- окиснювальні процеси (незворотне перетворення сірководню у сірку);
- адсорбція (поглинання сірковмісних сполук твердими сорбентами).

На вибір методу утилізації залежить від ряду факторів, а саме: склад і властивості сировинного газу, необхідний ступінь очищення та його подальше використання, наявна сировинна та матеріальна база, тощо. Сьогодні, на технологічних лініях, які обробляють значні об’єми газу, очищення попутного газу від сірковмісних сполук відбувається шляхом використання хімічних та фізичних сорбентів. Окиснювальні та адсорбційні процеси застосовуються у випадках, коли необхідно на виході отримати високий ступінь очистки.

Досить перспективним напрямком очищення попутного газу від сірковмісних сполук є метод хімічної нейтралізації. Його основна перевага полягає у тому, що і процесі очищення попутного газу отримують не лише очищений газ, але й цінний побічний продукт, наприклад інгібітор корозії для обладнання нафтової промисловості. У випадках високого рівня забруднення початкового газу, метод хімічної нейтралізації дозволяє отримати більш високий ступінь очистки.

Була досліджена можливість застосування реагенту «Дарсан-Н» для методів хімічної нейтралізації сірковмісних сполук. Принципова схема такої установки наведена на рисунку 2.1.

Установка складається з ємності з внутрішнім контактним пристроєм. В дану ємність зверху подається реагент «Дарсан-Н», а знизу – попутний газ. У момент їх змішування відбувається затримання сірковмісних сполук, тобто очищення. Використаний реагент придатний для повторного використання, тому він направляється у другу ємність із забрудненим газом.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№ Інв.№дубл.	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 18510265	Арк 15
-----	-----	----------	-------	------	-------------	-----------

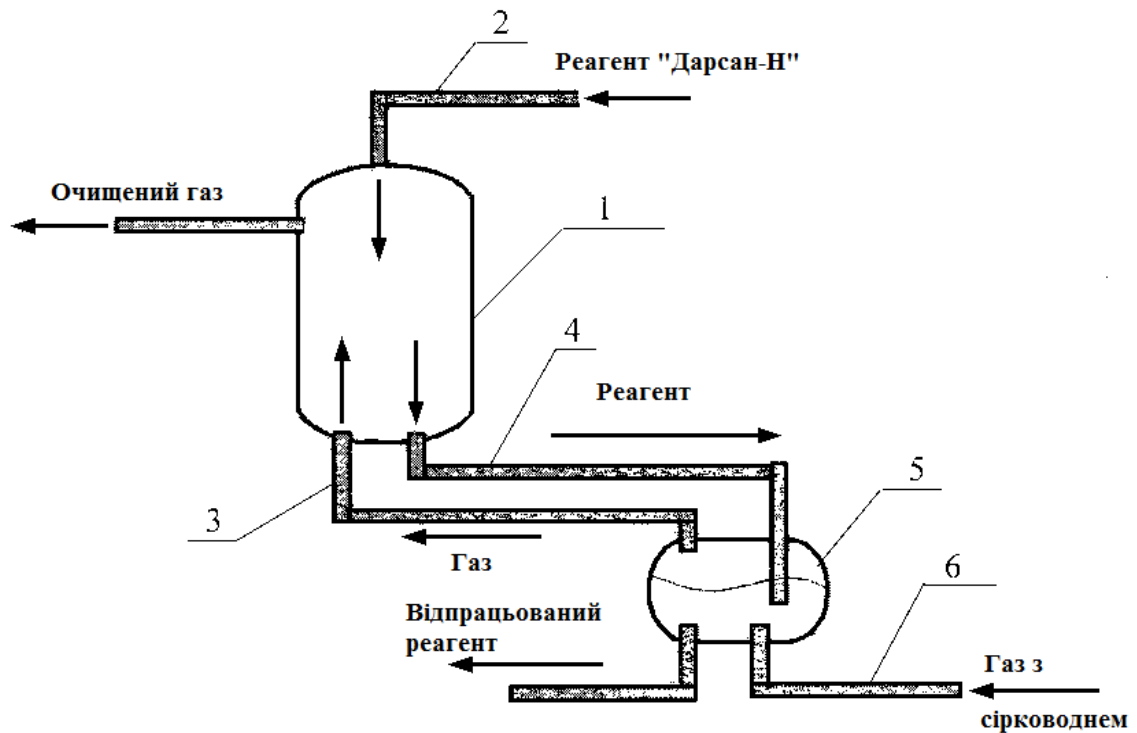


Рисунок 2.1 – Принципова схема установки з очищення газу: 1 – вертикальна ємність з контактним пристроєм, 2 – реагент «Дарсан-Н», 3 – попутний газ, 4 – вихід реагенту з ємності, 5 – додаткова ємність, 6 – вихідний газ

Отже, в процесі використання реагенту «Дарсан-Н» відбувається очистка попутного газу від сірковмісних сполук, що виключає спалювання на факелах. Продукт очищення придатний для використання, як у власних потребах, так і для подачі на реалізацію, що дозволяє знизити негативне навантаження на довкілля.

Окрім газу, реагент «Дарсан-Н» може бути застосований для очистки від сірководню та легких меркаптанів рідких вуглеводнів. Процес очистки можна пришвидшити шляхом заміни апаратів гравітаційного розділення у ланцюгу очистки на вихрову установку. Прикладом такої установки можна назвати гідроциклон [5].

Інколи, вміст легких фракцій вуглеводнів у видобутому продукті може сягати до 15 %. Такий продукт слід піддати стабілізації для збереження світлих фракцій і можливості їх подальшої утилізації. Процес стабілізації дозволить

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата						Арк
										16
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 18510265					



попередити забруднення доквілля сірковмісними сполуками. Для стабілізації широко застосовують фізичні методи, а саме відцентрові сили.

На рисунку 2.2 наведена принципова схема установки для стабілізації нафти з допомогою гідроциклонів. Для зниження навантаження на доквілля, такі установки обладнують апаратами очистки від сірковмісних сполук [7].

На основі взаємодії сірководню з формальдегідом, було сформовано новий тип каталізаторів реакції очищення. На основі цього, було створено технологічний процес вибіркового очищення газу стабілізації від сірковмісних сполук і в ролі побічного продукту отримувати цінні сірковмісні продукти.

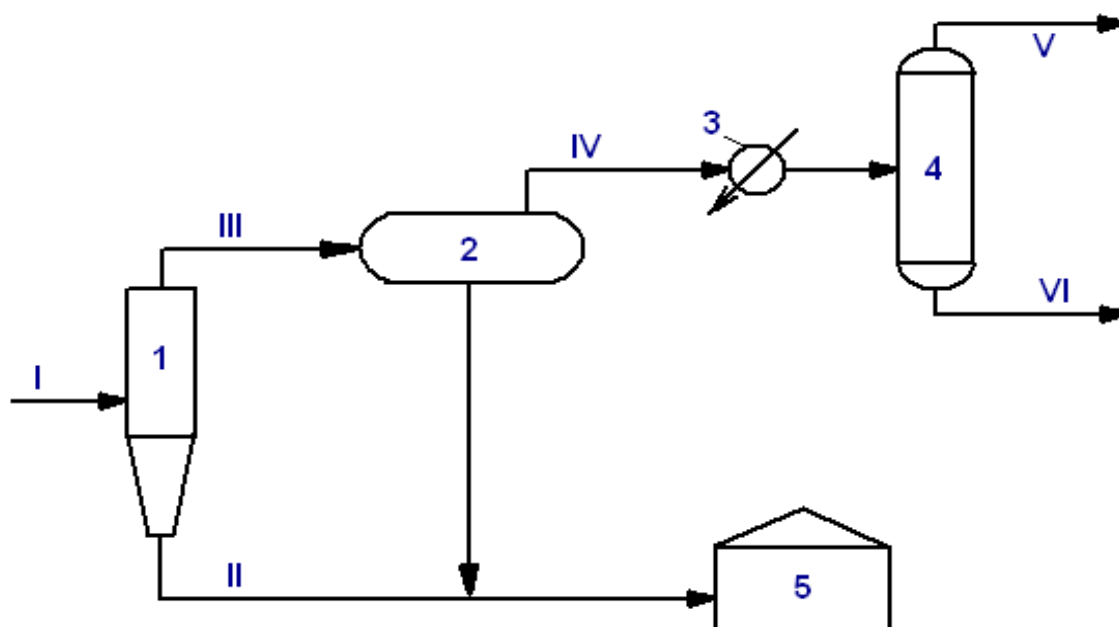


Рисунок 2.2 – Принципова схема гідроциклонами стабілізації нафти: 1 – мультигідроциклон; 2 – ємність-збірник; 3 – конденсатор-холодильник; 4 – газосепаратор; 5 – резервуар; I – нестабільна нафта; II – стабільна нафта; III – газ із крапельною нафтою; IV – газ, насичений легкими вуглеводнями; V – сухий газ; VI – ШФЛУ

Найбільш широкого застосування на сьогодні отримав метод очищення нафтового газу з допомогою алканоламінів. Ефективність очистки таких реагентів дозволяє отримати високий рівень очистки кінцевого продукту з мінімальними

Підп. і дата
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

затратами реагенту. До переваг алканоламінів можна віднести: меншу корозійність, здатність до піноутворення та винесення в результаті дії високих температур, більший ступінь насичення та менші витрати (рисунок 2.3).

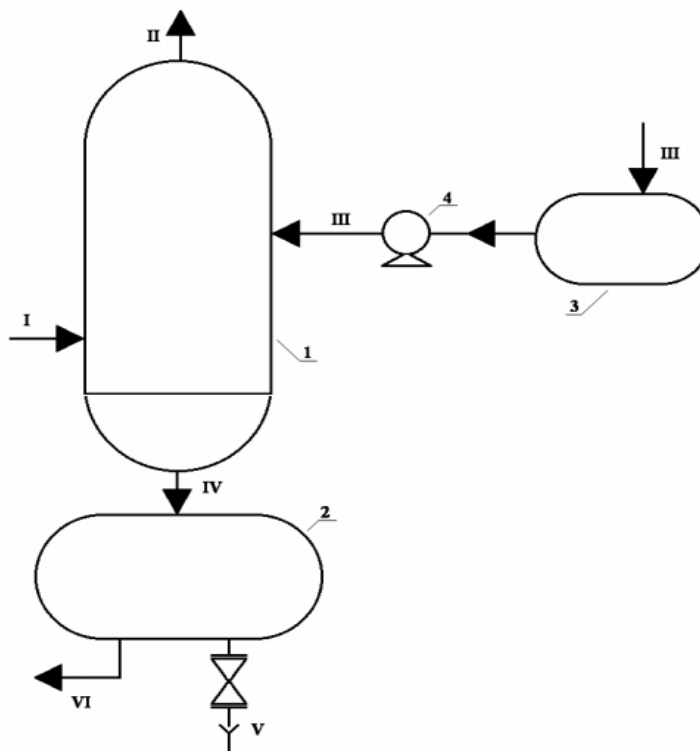


Рисунок 2.3 – Принципова схема дослідної установки очищення попутних газів від сірководню: 1 – абсорбер; 2 – сепаратор; 3 – ємність; 4 – насос зрошення. I – вихідний газ; II – знесірчений газ; III – водний розчин формаліну; IV – поліметиленсульфід і вода; V – вода; VI – поліметиленсульфід.

В практиці використовується три різні співвідношення амінів: 40 % МДЕА і 5 % ДЕА, 30 % МДЕА і 10 % ДЕА, 20 % МДЕА і 10 % ДЕА [8]. Порівнянн ефективності роботи усіх цих трьох варіацій наведено у таблиці 2.1. Так, найкраще співвідношення має суміш 40 % МДЕА і 5 % ДЕА. [9].

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№ Інв.№дубл.	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

Таблиця 2.1 – Порівняльний аналіз методів очищення

Параметри порівняння	Заміна аміну	Парова рекомпресія	Розподіл потоку	Комбінована схема
Теплове навантаження, кг/год	9582,90	6783,40	7356,18	7333,03
Зміни в схемі	Заміна МЕА на МДЕА+ДЕА, додавання 2 сепараторів	Переобв'язка обладнання, додавання сепаратора, клапана, компресора, LNG сепаратора	Переобв'язка обладнання, додавання насоса, холодильника, LNG сепаратора	Переобв'язка обладнання, додавання сепаратора, 2 насосів, клапана, компресора, холодильника, трійника, LNG-сепаратора
Плюси	Менше піноутворення і корозійна активність, немає виносу аміну, дешевше МЕА, великий ступінь насичення	Витрата пари значно менше, ніж у стандартному процесі: найменше теплове навантаження	Витрата пара трохи менше, ніж за стандартного процесу	Витрата пари менше, ніж за стандартного процесу
Мінуси	Якість очищення гірше стандартного процесу, дуже велике теплове навантаження	Великі капітальні витрати	Теплове навантаження практично не змінилося, за великих капітальних витрат	Витрати на додавання додаткового обладнання

Так, з використанням парової рекомпресії, можна підвищити ефективність процесу, при цьому, подача пару в апарат зменшується приблизно на 10 %.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ТС 18510265

Попутний нафтовий газ, що утворюється в результаті розробки сірчистих родовищ нафти характеризується високим вмістом сірководню. Такий попутний нафтовий газ є високоцінним ресурсом вуглевмісної сировини.

Осушення природного видобутого газу відбувається трьома способами: низькотемпературною сепарацією, абсорбційною та адсорбційною сушкою. Абсорбційна сушка застосовується переважно перед закачкою газу до підземних сховищ установок скраплення газу для його подальшого транспортування, на заводах по виробництву гелію перед кріогенними процесами, під час процесу очистки пропан-бутанової фракції, в процесах очистки газу від сірководню та вуглецю оксид та меркаптанів.

Найбільш поширеними абсорбентами являються монодіетаноламіни. Їх застосування найбільш ефективно у тих випадках, коли разом з сірководнем та оксидом вуглецю у попутних газах містяться інші сполуки сірки. Усі ці речовини вступають в реакцію з моноетаноламіном та зв'язуються. Така реакція призводить до частоті заміни абсорбента [10].

Процес очистки від сірковмісних сполук методом окиснення до елементарної сірки дозволяє використовувати даний метод у тих випадках, коли об'єми попутного газу незначні, але мають високі концентрації забруднюючих речовин. Температура перебігу реакції може сягати 300 °С, а швидкість подачі вуглеводнів – 200 м<sup>3</sup>/год. З метою недопущення повного окиснення сірковмісних сполук в таких умовах по діоксиду сірки, здійснюється контроль температури подачі газу, яка не має перевищувати 55 °С.

Процес очистки попутного газу, що містить в своєму складі до 10 % сірковмісних сполук є досить енергетично затратним. Це пояснюється високими показниками температури перебігу процесу (170–200 °С). Оскільки, температура подачі газу незначна, (55–60 °С) існує необхідність розігріву каталізатора вище 240 °С, що при використанні електричної енергії для вироблення тепла є практично неможливою задачею.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 18510265	Арк
						20

На рисунку 2.4 наведено технологічну схему установки очистки попутного газу шляхом окиснення. Така схема має в своєму складі теплообмінники, що дозволяють використовувати тепло, що надходить від реактору для підняття температури вхідного потоку попутного газу та подальшого охолодження на вході в сепаратор для отримання колоїдної сірки [11].

В процесі очистки попутного газу, що має низький вміст сірководневих сполук (до 2 %), передбачено нагрівання суміші до температури спалаху.

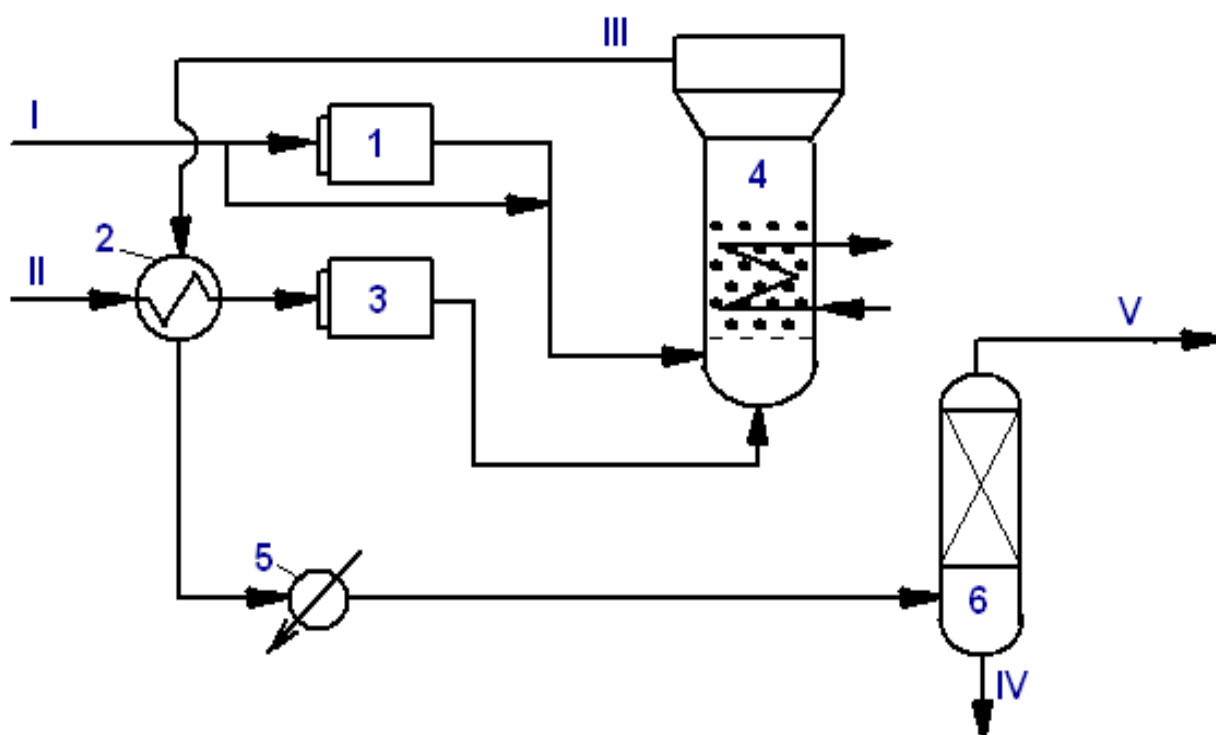


Рисунок 2.4 – Схема прямого окиснення сірководню в широкому діапазоні концентрацій сірководню в газах (Сафин, 2010) [7]: 1 – підігрівач повітря, 2 – теплообмінник, 3 – газопідігрівач, 4 – реактор з киплячим шаром каталізатора, 5 – конденсатор-холодильник, 6 – сепаратор сірки; I – повітря, II – газ, що містить сірководень, III – відхідні гази, IV – сірка, V – очищений газ

Для очистки нафти та газового конденсат від сірководневих сполук та меркаптанів застосовують метод оброблення органічним реагентом. В якості

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

такого може виступати діоксидні або їх суміші з додаванням амінів, тощо. Застосування такого методу очистки дозволяє отримати високу ступінь очистки з низькою витратою реагенту та за короткий проміжок часу.

Прикладом хемосорбційних методів можна назвати лужно-каталітичну технологію, що призначена для видалення сірководню з попутного газу. При цьому, до вихідної сировини не висуваються високі вимоги, технологія є ефективною при низькому тиску та малій продуктивності (від 100 м<sup>3</sup>/год до 1000 м<sup>3</sup>/год). Тобто у більшості випадків, коли не можна застосувати описані вище методи (алканоламінового або адсорбційного очищення). Хемосорбційна лужно-каталітична технологія наведена на рисунку 2.5 [13].

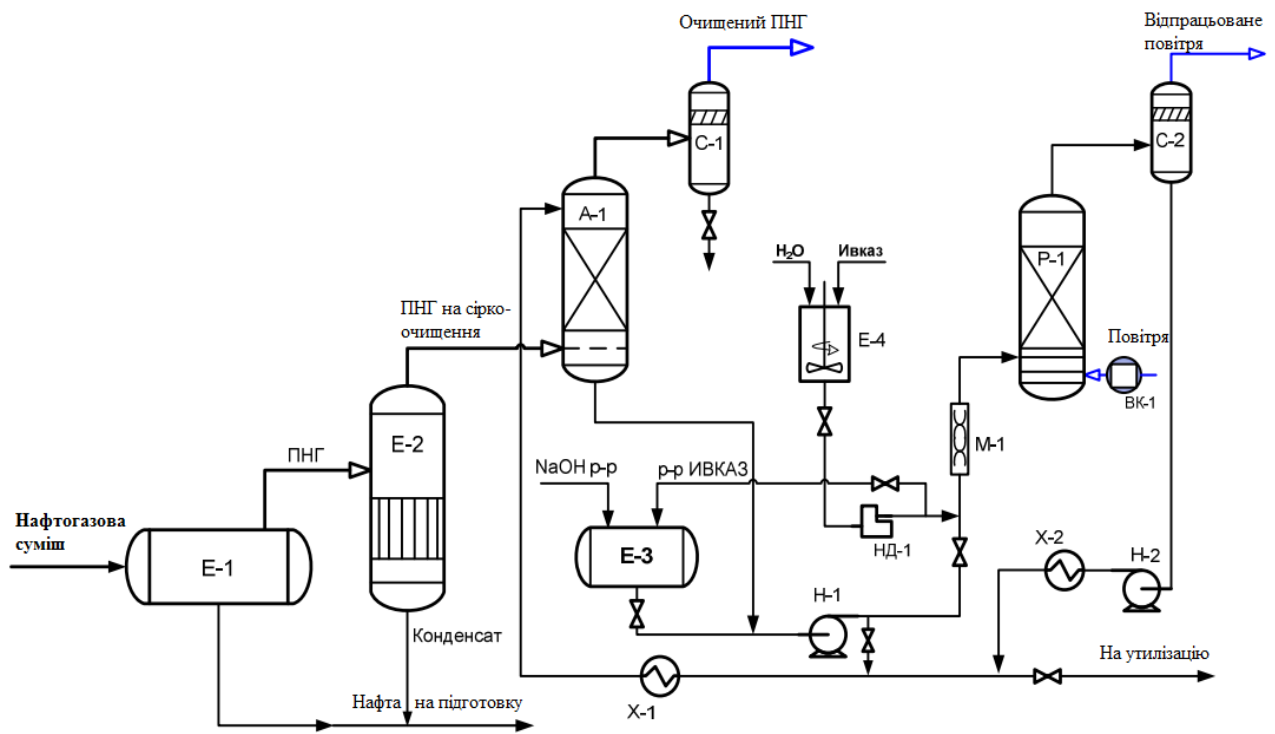


Рисунок 2.5 – Принципова технологічна схема лужно-каталітичного очищення попутного нафтового газу від сірководню

У випадку, коли продуктивність установи дорівнює 200 м<sup>3</sup>/год та концентрації сірководню у попутному газі до 3,5 %, досягається найвищий ступінь очистки, коли у вихідному газі вміст сірководню тримається ні рівні

Підп. і дата
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інк.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

0,01%, що дозволяє використовувати такий газ у якості палива електроустановках.

Відомо, про метод очистки попутного нафтового газу з використанням рідкого абсорбенту на основі гідроксидів металів I, II групи або їх суміші з подальшою їх регенерацією шляхом змішування з повітрям. Абсорбент, що використовується у даній методиці містить у своєму складі кобальт-фталоціаніновий каталізатор окислення. Сірководень, що вступає з ним в реакцію, утворює нетоксичні водорозчинні сполуки металів. Установа складається з абсорбера та регенератора (сукупність пустотілих апаратів або насадок), диспергатора, сепаратора, насоса для подачі абсорбента, ємність для приготування і зберігання абсорбенту, компресор для подачі повітря в регенератор.

Допускається використання хелатних сполук заліза, як приклад абсорбційного методу у процесі очищення попутних газів від сірководню. До складу такого абсорбента будуть входити хелатні сполуки заліза, фосфат лужного металу, карбонат і/або гідроксид лужного металу, тощо. З метою зменшення процесу піноутворення, абсорбент може мати у своєму складі сульфат алюмінію у кількості 0,05–0,2 г/л. Перевагами такого методу є висока стабільність, стійкість до корозії.

На рисунку 2.6 наведено класифікацію способів очищення газів від оксиду сульфуру.

Так, досить поширеним методом очищення попутного газу від сульфур (IV) оксиду є хемосорбційний метод. В якості каталізатору процесів абсорбції застосовуються сполуки заліза (II, III). На рисунку 2.7 Наведена принципова схема такої установки [16].

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№ Інв.№дубл.	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 18510265

Арк

23

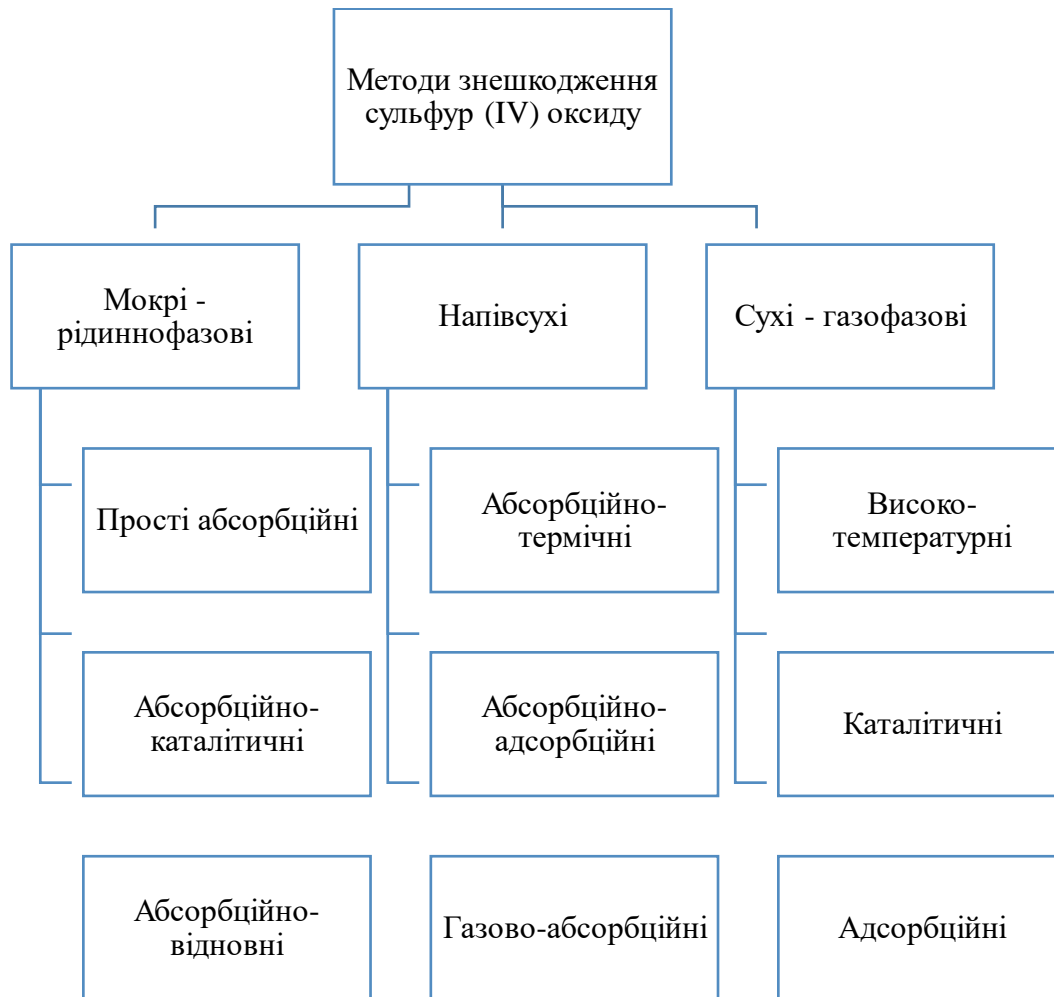


Рисунок 2.6 – Класифікаційна схема процесів десульфуризації відхідних промислових газів

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	
ТС 18510265					Арк
					24



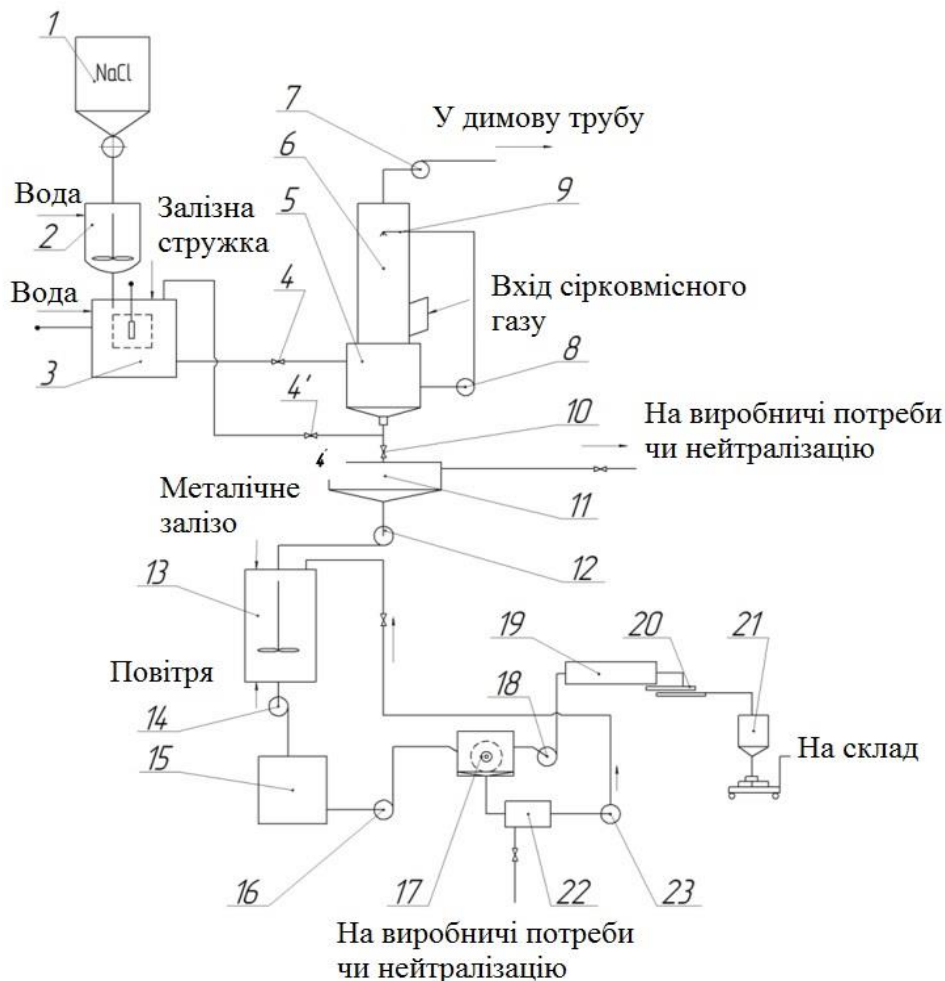


Рисунок 2.7 – Принципова апаратурно-технологічна схема знешкодження сульфур (IV) оксиду промислових газових викидів розчинами сполук заліза (II, III) з отриманням гетиту: 1 – бункер з NaCl; 2 – бак для розчинення NaCl; 3 – електролізер; 4,4' – засувка; 5 – циркуляційний бак; 6 – порожнистий форсунковий скруббер; 7 – димосос; 8 – відцентровий насос; 10 – засувка; 11 – відстійник; 12, 14, 16, 23 – насоси; 13 – реактор; 15 – збірник суспензії; 17 – барабанний вакуум-фільтр; 18 – шнек; 19 – сушарка; 20 – шнековий конвеєр; 21 – бункер пігменту; 22 – збірник фільтрату

В цілому, стадії очистки можна описати наступним чином: приготування розчинів сполук заліза, поглинання сульфур (IV) оксиду цими розчинами, в результаті чого утворюється залізоокисного пігменту (гетиту), подальша сушка та фасовка пігменту. Описана технологія має ряд переваг:

- високий рівень очистки попутного газу від сульфур (IV) оксиду;

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

- отримання гептиту в якості побічного продукту, що дозволяє використовувати його в якості товарного продукту.

Можливо використовувати в процесі очистки біохімічні методи окиснення, в результаті яких відбувається відновлення сульфур (IV) оксиду до елементарної сірки. Такий метод можна реалізувати в апаратах біофільтрів, де в якості фільтруючого матеріалу використовується фосфогіпсу. Такий апарат дозволяє вирішити два екологічних питання: очищення попутного газу та утилізація фосфогіпсу [25-27].

### 2.3 Опис екологічно безпечного технологічного процесу очищення газів від сірководню

В роботі розглянуто метод гідроочищення нафтових газів від сірководню. Технологічна схема наведена на рисунку 2.8.

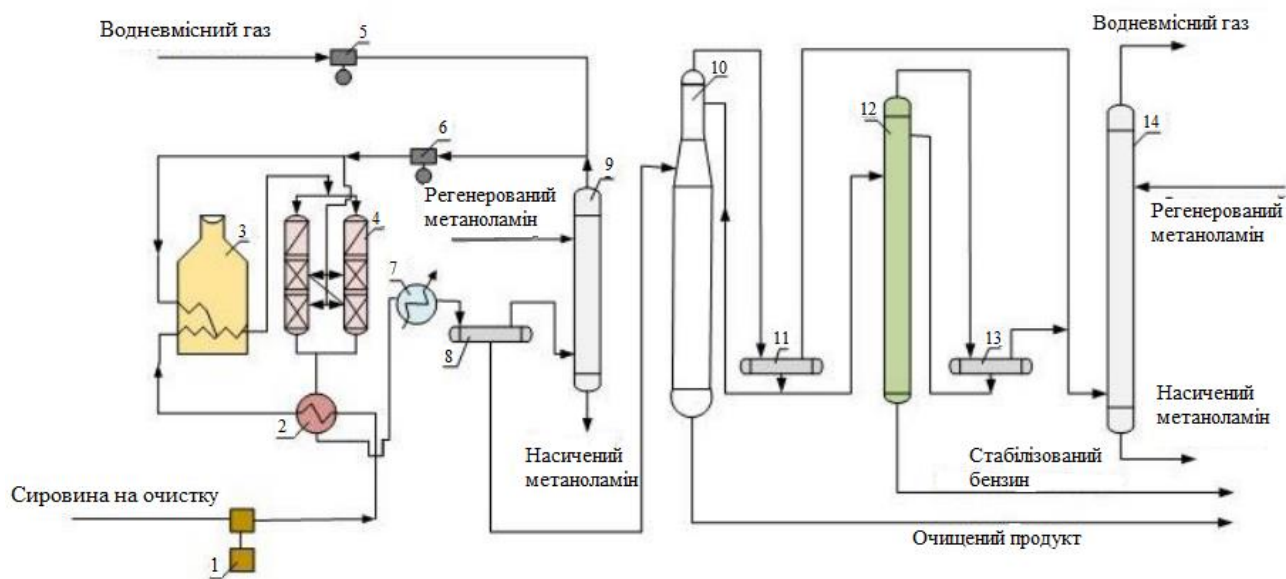


Рисунок 2.8 – Технологічна схема гідроочищення ПНГ: 1 – насос, 2 – теплообмінник, 3 – трубчаста піч, 4 – реактор, 5, 6 – компресор, 7 – холодильник, 8, 11, 13 – сепаратор, 9, 14 – абсорбер, 10 – колона, 12 – стабілізатор

Підп. і дата
Взаєм.інв.№ Інв.№дубл.
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

Технологічний процес очистки полягає наступним чином: попутній нафтовий газ за допомогою насосу, через теплообмінник надходить до трубчастой печі, де відбувається його підсушування. На наступному етапі він нафтовий газ потрапляє в реактор, в якому вже міститься каталізатор. Одночасно з нафтовим газом, до реактору надходять водневовмісні гази. Далі, газова суміш з каталізатор проходить теплообмінник другого ступеню, холодильник та надходить у сепаратор високого тиску, в якому відбувається розділення на рідку і парову фази.

Парова фаза – це суміш водню, сірководню та сухого газу. Парова фаза із сепаратора надходить до абсорберу де відбувається поглинання сірковмісних сполук водним розчином метанодаміна. Очищений газ подається на циркуляцією в систему газопостачання. Розчин абсорбера надходить до десорберу, в якому перебігають процеси десорбції. Регенований метаноламін повертається в технологічний процес. Вловлений сірководень надходить до установки, де відбувається вилучення сірки.

Рідка фаза, що була вилучена сепаратором надходить до колони, де відбувається виділення бензину та газу-результату гідроочищення. Далі суміш потрапляє до стабілізатора, де відбувається розділення. Бензин очищається лугом з метою видалення залишків сірководню, а газ – до абсорберу для очистки від сполук сірки.

Процес гідроочищення супроводжується виділенням великої кількості теплоти, тому для врегулювання температурних режимів, здійснюється обдувка реактора холодним повітрям [26, 27].

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 18510265	Арк
						27

## РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ОЧИЩЕННЯ ПОПУТНОГО НАФТОВОГО ГАЗУ

### 3.1 Розрахунок конструкційних параметрів процесу абсорбції

#### 3.1.1 Маса речовини, що поглинається та витрата абсорбенту

Геометричні параметри колонного масообмінного апарату визначаються згідно площі поверхні масопередачі, що необхідна для протікання процесу абсорбції. Площа поверхні масопередачі може бути визначена згідно формули 3.1:

$$F = M / (K_x \Delta X_{cp}) = M (K_y \Delta Y_{cp}) \quad (3.1)$$

де  $K_x, K_y$  - коефіцієнти масопередачі, для рідкої та газоподібної фази, кг/(м<sup>2</sup>с)

Об'єм сполук сірки, що будуть поглинені рідкою фазою абсорбера:

$$M = G(y_n - y_k); \quad (3.2)$$

де  $G$  - витрат інертної частини газу, кг/с,  $Y_n, Y_k$  - початкова та кінцева концентрації сполук сірки у складі газу, кг S/кг Г

Склад фаз та навантаження за рідкою і газоподібною фазами:

Рідка фаза на вході в апарат:  $X_n = 0,01 \dots 0,1\%$ (мас)

$$X_n = \frac{x_n}{1 - x_n}; \quad (3.3)$$

$$X_n = \frac{0,0001}{1 - 0,0001} = 0,0001 \text{ кг S/кг } H_2O$$

Рідка фаза на виході з апарату:

$$X_k = \frac{x_k}{1 - x_k}; \quad (3.4)$$

$$X_k = \frac{0,0251}{1 - 0,0251} = 0,0257 \text{ кг S/кг } H_2O$$

Газова фаза на вході в апарат:

Підп. і дата						<b>ТС 18510265</b>	Арк
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Взаєм.інв.№	Взаєм.інв.№	Взаєм.інв.№	Взаєм.інв.№		28
Підп. і дата	Підп. і дата	Підп. і дата	Підп. і дата	Підп. і дата	Підп. і дата		
Інв.№подл.	Інв.№подл.	Інв.№подл.	Інв.№подл.	Інв.№подл.	Інв.№подл.		
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			

$$Y_n = \frac{y_n}{1 - y_n}; \quad (3.5)$$

$$Y_n = \frac{0,481}{1 - 0,481} = 0,927 \text{ кг S/кг Г}$$

Газова фаза на вході в апарат:

$$Y_k = (1 - \eta)y_n; \quad (3.6)$$

$$Y_n = (1 - 0,8) \cdot 0,481 = 0,0962 \text{ кг S/кг Г}$$

Згідно формули 3.2:

$$M = 0,31(0,927 - 0,0962) = 0,26 \text{ кг/с}$$

Витрата рідкої фази на поглинання сполук сірки (L):

$$L = M / (X_k - X_n); \quad (3.7)$$

$$L = 0,26 / 0,0257 - 0,0001 = 10,16 \text{ кг/с}$$

Тоді відношення витрат фаз, або питома витрата абсорбенту складе:

$$l = L / G = 10,16 / 0,33 = 30,78 \text{ кг/с}$$

### 3.1.2 Рухома сила масопередачі

Рухома сила, згідно рівняння 3.1 може бути виражена в одиницях концентрації як рідкої, так і газової фаз. У випадку лінійної рівноваги, залежність між складом фаз, приймаючи модель ідеального витіснення в потоках обох фаз, визначаємо рухому силу в одиницях концентрації газової фази:

$$\Delta Y_{cp} = (\Delta Y_{\sigma} - \Delta Y_m) / [\ln(\Delta Y_{\sigma} / \Delta Y_m)], \quad (3.8)$$

де  $\Delta Y_{\sigma}, \Delta Y_m$  – більша і менша рухому сили на вході до потоку в абсорбер та на виході з нього, кг S/кг Г

В даному розрахунку:

$$\Delta Y_{\sigma} = Y_n - Y_{X_k}^*; \quad \Delta Y_m = Y_k - Y_{X_n}^*; \quad (3.9)$$

де  $- \Delta Y_{X_k}^*, \Delta Y_{X_n}^*$  – вміст сірковмісних сполук у газовій фазі, рівновага з концентраціями у рідкій фазі відповідно на виході з абсорбера і на вході в нього

Підп. і дата	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Інв.№подл.	Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	TC 18510265	Арк
											29

$$\Delta Y_6 = 0,927 - 0,39 = 0,9537 \text{ кг S/кг Г}$$

$$\Delta Y_m = 0,0962 - 0,048 = 0,0482 \text{ кг S/кг Г}$$

$$\Delta Y_{cp} = (0,537 - 0,048) / [\ln(0,537 / 0,048)] = 0,2 \text{ кг S/кг Г}$$

### 3.1.3 Коефіцієнт масопередачі

Коефіцієнт масопередачі  $K_y$  знаходиться по рівнянню аддитивності фазових дифузійних суперечностей:

$$K_y = 1 / (1 / \beta_y + m / \beta_x); \quad (3.10)$$

де  $\beta_x, \beta_y$  – коефіцієнти масовіддачі рідкої та газової фаз кг / (м<sup>2</sup>с); m- коефіцієнт розподілення.

Для розрахунку коефіцієнтів масовіддачі необхідно обрати тип насадки та розрахувати швидкість потоків у абсорбері. При виборі типу насадки для проведення масообмінних процесів керуються наступними положеннями:

1. Певними умовами протікання процесу – навантаження за рідиною та газом, різноманітними фізичними властивостями систем, наявністю в потоках рідини та газу механічних домішок, поверхня контакту фаз в одиницю об'єму апарату, тощо.
2. Основною вимогою до технологічного процесу є необхідність забезпечення незначного перепаду тиску в колоні, широкий інтервал змін стабільності процесу, малий час перебування рідини в апарату, тощо.
3. Особливі вимогою до апаратного оформлення – створення одиничного апарату, чи ставлення його на лінію, потужність апарату, робота в корозійному середовищі, створення умов підвищеної надійності, тощо.

Такі вимоги задовольняють невпорядковані насадки.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	
Інв.№дубл.	
Підп. і дата	
Інв.№попл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 18510265	Арк
						30

### 3.1.4 Швидкість газу та діаметр абсорбера

Граничну швидкість газу, вище якої настає затоплення насадкових абсорберів можна розрахувати по формулі 3.11

$$\lg \left[ \frac{w_{np}^2 a}{g \varepsilon^3} \cdot \frac{\rho_y}{\rho_x} \left( \frac{\mu_x}{\mu_y} \right)^{0,16} \right] = A - B(L/G)^{1/4} \left( \frac{\rho_y}{\rho_x} \right)^{1/8}; \quad (3.11)$$

де  $w_{np}$  – гранична швидкість газу, м/с;  $\mu_x, \mu_y$  – щільність абсорберу при температурі 10 °С, Па·с;  $A, B$  – коефіцієнт, що залежить від типу насадок,  $L, G$  – витрата фаз, кг/с.

$$\lg \left[ \frac{w_{np}^2 200 \cdot 1,247 \cdot (1,3 \cdot 10^{-3})^{0,16}}{9,81 \cdot 0,74^3 \cdot 1000} \right] = 0,22 - 1,75 \left( \frac{10,16}{0,33} \right)^{1/4} \cdot \left( \frac{1,247}{1000} \right)^{1/8}$$

Вирішивши рівняння, отримаємо  $w_{np} = 1,26$  м/с

Робоча швидкість газу  $w$  приймається на 50 % менше чим  $w_{np}$

$$w = 1,26 \cdot 0,5 = 0,6 \text{ м/с}$$

Діаметр абсорбента знаходимо із рівняння витрати:

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi \cdot w}}; \quad (3.12)$$

де  $V$  - об'ємна витрата газу при умовах в абсорбері, м<sup>3</sup>/с.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,16}{3,14 \cdot 0,6}} = 0,58 \text{ м}$$

Обираємо стандартний діаметр абсорбера  $d = 0,6$  м, при цьому дієва робоча швидкість газу в абсорбері становить:

$$w = 0,6(0,58/0,6)^2 = 0,56 \text{ м}$$

### 3.1.5 Густина зрошення та активна поверхня насадки

Густина зрошення визначається за формулою:

$$U = L/(\rho_x S); \quad (3.13)$$

де  $S$  - площа поперечного зрошення абсорбера, м<sup>2</sup>.

Використавши числові значення отримаємо:

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

$$U = 10,16 / \left( 1000 \cdot 3,14 \cdot \left( \frac{0,6}{2} \right)^2 \right) = 0,036 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \text{с})$$

При недостатній щільності зрошення та неправильній організації подачі рідини поверхня насадок може бути змочена не повністю. Проте, навіть частина змоченої поверхні практично не приймає участі в процесі масо передачі через наявність застоючих зон рідини або ж нерівномірного розподілу газу по перерізу колони.

Існує мінімальна ефективність щільності зрошення  $U_{\min}$ , вище якої насадка може вважатися змоченою. Для насадкових абсорберів мінімальну щільність зрошення  $U_{\min}$  знаходять за відношенням:

$$U_{\min} = a \cdot q_{\text{эф}}; \quad (3.14)$$

де  $q_{\text{эф}}$  - ефективна лінійна щільність зрошення,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

Для кілець Рашига розміром 75 мм та хордових насадок з кроком більше 50 мм  $q_{\text{эф}} = 0,033 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 / \text{с}$ ; для усіх інших  $q_{\text{эф}} = 0,022 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 / \text{с}$ .

$$U_{\min} = 200 \cdot 0,022 \cdot 10^{-3} = 0,0044 \text{ м}^3 / \text{м}^2 \text{с}$$

Коефіцієнт змочення насадки  $\psi$  для кілець Рашига при заповненні колони можна визначити з наступного емпіричного рівняння:

$$\psi = 0,122 (U \rho_x)^{1/3} d_n^{-1/2} \sigma^{-m} \quad (3.15)$$

де  $d_n$  - діаметр насадки;  $m = 0,133 d_n^{-0,5}$ .

$$\psi = 0,122 (0,036 \cdot 1000)^{1/3} \cdot 0,015^{-1/2} \cdot (762 \cdot 10^{-4})^{-(0,133 \cdot 0,015^{-0,5})} = 0,92$$

При абсорбції водою та водним розчином добре розчинних газів, поверхня змочення насадки зменшується. Тому повна змащуваність досягається при найбільш високому значенні  $\Gamma$ . Для таких систем значення  $\Gamma_{\min}$ , може бути розраховано за рівняння:

$$\frac{\Gamma_{\min}}{\mu_x} = A \cdot \text{Re}_y^{0,4} \left( \frac{\rho_x \Delta \sigma^3}{\mu_y^4 g} \right)^{0,2}; \quad (3.16)$$

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ТС 18510265				Арк
									32
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата					



Де коефіцієнт  $A$  залежить від угла змочення і змінюється у межах 0,12-0,17, приймаємо  $A = 0,15$ ;  $\Delta\sigma$  - різниця поверхневого натягу рідини, що подається на зрошення та рідини, що стікає.

$$\frac{\Gamma_{\min}}{1,3 \cdot 10^{-3}} = 0,15 \cdot 861,7^{0,4} \left( \frac{1000 \cdot (762 \cdot 10^{-4})^3}{(0,176 \cdot 10^{-4})^4 \cdot 9,81} \right)^{0,2} = 9,97 \text{ кг/(мс)}$$

Частка активної поверхні  $\psi_a$  може бути знайдена за формулою:

$$\psi_a = \frac{3600U}{a(p + 3600qU)}; \quad (3.17)$$

де  $p, q$ -коефіцієнти, що залежать від типу насадки.

Підставив числові значення, отримаємо:

$$\psi_a = \frac{3600 \cdot 0,036}{200(0,0078 + 3600 \cdot 0,0146 \cdot 0,036)} = 0,34.$$

Як видно, не вся змочена поверхня є активною. Найбільш активна поверхня змочення досягається за рахунок подачі зрошення, що забезпечує необхідну кількість точок зрошення на  $1 \text{ м}^2$  поперечного зрізу колони. Дана кількість точок і визначає вибір типу розподільчого пристрою.

### 3.1.6 Розрахунок коефіцієнту масовіддачі

Для колон з неупорядкованою насадкою, коефіцієнт масовіддачі  $\beta_y$  можна заходимо з рівняння

$$Nu'_y = 0,167 Re_y^{0,74} Pr_y'^{0,33} (l/d_s)^{-0,47}; \quad (3.18)$$

де  $Nu'_y = \beta_y d_s / D_y$  - дифузійний критерій Нуссельта для газової фази.

Звідси  $\beta_y$  (в м/с) дорівнює:

$$\beta_y = 0,167 (D_y / d_s) Re_y^{0,74} Pr_y'^{0,33} (l/d_s)^{-0,47}, \quad (3.19)$$

де  $D_y$  - середній коефіцієнт дифузії сірковмісних сполук в газовій фазі,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$Re_y = wd_s \rho_y / (\epsilon \mu_y)$  - критерій Рейнольдса для газової фази в насадках;

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 18510265	Арк
						33

$Pr'_y = \mu_y / (\rho_y D_y)$  - дифузійний критерій Прандтля для газової фази;  $\mu_y$  - в'язкість газу,  $Па \cdot с$  [6];  $l$  - висота елемента насадки, м.

$$D_y = \frac{4,3 \cdot 10^{-8} T^{3/2}}{P(v_{so_2}^{1/3} + v_r^{1/3})^2} \sqrt{\frac{1}{M_{so_2}} + \frac{1}{M_r}}, \quad (20)$$

де  $v_{so_2}, v_r$  - мольні доли сірковмісних сполук і газу в рідкому стані при нормальній температурі кипіння,  $см^3/моль$ ;  $M_{so_2}, M_r$  - мольні маси сірковмісних сполук і газу відповідно,  $кг/моль$ .

Підставивши значення, отримаємо:

$$D_y = \frac{4,3 \cdot 10^{-8} \cdot (273+10)^{3/2}}{0,981 \cdot 10^5 (50,4^{1/3} + 29,9^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{64} + \frac{1}{29}} = 10,41 \cdot 10^{-6}$$

$$Re_y = 0,6 \cdot 0,015 \cdot 1,247 / 0,74 \cdot 0,176 \cdot 10^{-4} = 861,7$$

$$Pr_y = 0,176 \cdot 10^{-4} / 1,247 \cdot 10,41 \cdot 10^{-4} = 1,35$$

$$\beta_y = 0,167 \left( \frac{10,41 \cdot 10^{-4}}{0,015} \right) \cdot 861,7^{0,74} \cdot 1,35^{0,33} \left( \frac{25 \cdot 10^{-3}}{0,015} \right)^{-0,47} = 0,0149 \text{ кг/м}^2\text{с}$$

Коефіцієнт масовіддачі в рідкій фазі  $\beta_x$  знаходимо із зведеного рівняння

$$Nu'_x = 0,0021 Re_x^{0,75} Pr_x'^{0,5}$$

де  $Nu'_x = \beta_x \delta_{np} / D_x$  - дифузійний критерій Нуссельта для рідкої фази. Звідси  $\beta_x$ , (в м /с) дорівнює:

$$\beta_x = 0,0021 (D_x / \delta_{np}) Re_x^{0,75} Pr_x'^{0,5} \quad (3.21)$$

де  $D_x$  - середній коефіцієнт дифузії сірковмісних сполук  $м^2/с$ ;

$\delta_{np} = [\mu_x^2 / \rho_x g]^{1/3}$  - приведена товщина плівки рідини, що стікає, м;

$Re_x = 4U\rho_x / (a\mu_x)$  - модифікований критерій Рейнольдса для стікаючої по насадці плівки рідини;  $Pr_x = \mu_x / (\rho_x D_x)$  - дифузійний критерій Прандтля для рідини.

Підп. і дата
Взаєм.інв.№
Інв.№дубл.
Підп. і дата
Інв.№подл.

В розбавлених розчинах коефіцієнт дифузії  $D_x$  може бут досить точно розрахований за формулою:

$$D_x = 7,4 \cdot 10^{-12} (\beta M)^{0,5} T / (\mu_x \nu_{so_2}^{0,6}), \quad (3.22)$$

де  $M$  - мольна маса сірковмісних сполук, кг/моль;  $T$  - температура сірковмісних сполук, К;  $\mu_x$  - в'язкість сірковмісних сполук, мПас;  $\nu_{so_2}$  - мольний об'єм сірковмісних сполук, см<sup>3</sup>/моль;  $\beta$  - параметр, що враховує асоціацію молекул.

Підставивши числові значення у рівняння (3.22) отримаємо:

$$D_x = 7,4 \cdot 10^{-12} (64 \cdot 1)^{0,5} 283 / (1,3 \cdot 10^{-3} \cdot 50,4^{0,6}) = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

$$\delta_{np} = [(1,3 \cdot 10^{-3}) / 1000 \cdot 9,8]^{1/3} = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$Re_x = 4 \cdot 0,036 \cdot 1000 / 200 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} = 554$$

$$Pr_x = 1,3 \cdot 10^{-3} / (1000 \cdot 1,2 \cdot 10^{-6}) = 1,08$$

$$\beta_x = 0,0021 (1,2 \cdot 10^{-6} / 0,6 \cdot 10^{-3}) \cdot 554^{0,75} \cdot 1,08^{0,5} = 0,5 \cdot 10^{-3}$$

Виражаємо  $\beta_x$  у обраній для розрахунку розмірності:

$$\beta_x = 1,065 \cdot 10^{-6} (\rho_x - c_{хсп}) = 1,065 \cdot 10^{-6} (1000 - 16,2) = 0,1 \cdot 10^{-2} \text{ кг} / \text{м}^2 \cdot \text{с}$$

де  $c_{хсп}$  - середня об'ємна концентрація сірковмісних сполук, кгS/(м<sup>2</sup> см).

Згідно рівняння (3.8) розраховуємо коефіцієнт масопередачі по газовій фазі  $K_y$ :

$$K_y = 1 / (1 / 0,015 + 2 / 0,5 \cdot 10^{-3}) = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг} / \text{м}^2 \cdot \text{с}$$

### 3.1.7 Поверхня масопередачі та висота абсорбера

Поверхня масопередачі по абсорберу дорівнює:

$$F = 0,26 / (0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2) = 6500 \text{ м}^2$$

Висоти насадки, необхідна для створення цієї поверхні масопередачі дорівнює:

$$H = F / (0,785 \cdot a \cdot d^2 \cdot \psi_a) \quad (3.23)$$

Підставивши числові значення отримаємо:

$$H = 6500 / (0,785 \cdot 200 \cdot 0,6^2 \cdot 6,42) = 17,9 \text{ м}^2$$

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ТС 18510265

Арк  
35

Приймаємо кількість решіток  $n=25$ , а відстань між ярусами насадки  $0,3$ , визначаємо висоту насадкової частини абсорбера:

$$H_n = H + 0,3(H/(0,1n) - 1) = 29,5 + 0,3(29,5/(0,1 \cdot 25) - 1) = 33\text{ м}$$

Відстань між дном абсорбера та насадкою  $Z_n$  визначається необхідністю рівномірного розподілу газу по зрізу колони. Відстань від верха насадки до кришки абсорбера дорівнює  $Z_b$  залежить від розміру розподільчого приладу зрошення і від висоти сепарації простору. Приймаємо цю відстань рівну  $1,4$  та  $2,5$  м відповідно. Тоді загальна висота абсорбера становить:

$$H_a = H_n + Z_n + Z_b = 33 + 1,4 + 2,5 = 36,9\text{ м} = 37\text{ м}.$$

### 3.1.8 Гідравлічний опір абсорбера

Гідравлічний опір  $\Delta P$  зумовлює енергетичні затрати на транспортування газового потоку через абсорбер. Величина  $\Delta P$  розраховується за формулою:

$$\Delta P = \Delta P_c \cdot 10^{bU} \quad (3.24)$$

де  $\Delta P_c$  - гідравлічний опір сухої насадки, Па;  $U$  - щільність зрошення,  $\text{м}^3/(\text{м}^2\text{с})$ ;  $b$  - коефіцієнт, що залежить від типу насадки; для кілець Рашига  $b = 184$

Гідравлічний опір для схожої насадки визначається за формулою:

$$\Delta P_c = \lambda \frac{H \cdot w^2}{d_s \cdot 2} \rho_y, \quad (3.25)$$

де  $\lambda$  - коефіцієнт опору хаотично розкиданих насадок можна розрахувати за формулою:

при ламінарному потоці ( $Re_y < 40$ )

$$\lambda = 140 / Re_y \quad (26)$$

при турбулентному потоці ( $Re_y > 40$ ):

$$\lambda = 16 / Re_y^{0,2} \quad (27)$$

У нашому випадку  $Re_y > 40$ , тоді:

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

$$\lambda = 16/861,7^{0,2} = 4,15$$

$$\Delta P_c = 4,15 \frac{17,9 \cdot 0,76^2 \cdot 1,247}{0,015 \cdot 2} = 17835 \text{ Па}$$

Гідрравлічний опір зрошуваної насадки дорівнює  $\Delta P$ :

$$\Delta P = 17835 \cdot 10^{184 \cdot 0,036} = 75 \cdot 10^8 \text{ Па}$$

Аналіз результатів розрахунку абсорбера, показав, що основний дифузійний опір процесів масопередачі має рідка фаза, тому процеси абсорбції можна інтенсифікувати шляхом збільшення швидкості рідини. Для цього потрібно або збільшити витрату абсорбенту, або зменшити його діаметр. Збільшення витрат абсорбенту призведе до відповідного збільшення навантаження на систему регенерації абсорбенту, що призведе до збільшення капітальних та економічних витрат. Зменшення діаметру абсорбенту приведе до відповідного збільшення гідрравлічного опору абсорберів [28-31].

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата						Арк
					ТС 18510265					37
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

## РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Правила безпеки під час експлуатації посудин, що працюються під тиском

До посудин, що працюють під тиском належать герметичні ємності, у яких відбуваються хімічні та теплові процеси, транспортування чи зберігання стиснених, зріджених та розчинених газів та рідин.

Посудини, що працюють під тиском є об'єктами підвищеної небезпеки, тому під час їх роботи слід дотримуватися вимог ДНАОП 0.00-1.07-94 «Правила будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском». Ці правила поширюються на:

- посудини, що працюють під тиском води з температурою 115 °С, або інших рідин, температура яких перевищує температуру кипіння при тиску 0,07 МПа;
- посудини, в яких міститься газ чи вода з тиском понад 0,007 МПа;
- балони для зберігання та транспортування зріджених газів з тиском вище 0,07 МПа;
- цистерни та бочки для транспортування та зберігання зріджених газів тиск яких при температурі для 50 °С, перевищує тисяч 0,07 МПа.
- цистерни та бочки, у яких тиск понад 0,07 МПа утворюється періодично з метою випорожнення.

Усі посудини, що працюються під тиском, перед початком роботи мають бути зареєстровані в експертно-технічних центрах. До реєстрації підлягають:

- посудини I групи, що працюють при температурі нижче 200 °С, для яких добуток тиску (МПа) на місткість (м<sup>3</sup>) не перевищує 0,05;

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ТС 18510265

Арк

38

- посудини II – IV груп, що працюють при температурі нижче 200 °С, для яких добуток тиску (МПа) на місткість (м<sup>3</sup>) не перевищує 1 (таблиця 3.1);
- бочки, що призначені для перевезення зріджених газів та балони місткістю до 100 л включно;
- посудини, що призначені для транспортування та зберігання зріджених газів, що перебувають під тиском при їх випорожненні;
- посудини із стисненим газом, що встановлені на транспортному засобі і слугують для забезпечення його паливом;
- деякі інші посудини.

Таблиця 3.1 – Група посуду за розрахунковим тиском

Група посудин	Розрахунковий тиск, МПа	Температура стінки, °С	Характеристика робочого середовища
I	$\geq 0,07$	Незалежно	Вибухонебезпечне, або пожежонебезпечне
II	$\leq 2,5$	$\geq -70$	Будь-яке, за винятком указаної для 1-ї групи посудин
	2,5 – 4	-70 - 400	
	4 – 5	$\geq 200$	
	$\geq 5$	незалежно	
III	$\leq 1,6$	-70 – -20, 200 – 400	
	1,6 – 2,5	-70 – 400	
	2,5 – 4	-70 – 200	
	4-5	-40 – 200	
IV	$\leq 1,6$	-20 – 200	

Посудини, що працюють під тиском мають проходити технічний огляд, перед початком роботи та періодично в процесі експлуатації. Такий огляд проводиться у відповідності із НПАОП 0.00-1.07-94 «Правила пристрою і безпечної експлуатації судин, що працюють під тиском (зі змінами і доповненнями)».

Технічний огляд включає в себе зовнішній та внутрішній огляди, гідравлічні випробування. Зовнішні та внутрішні огляди мають на меті визначення несправностей та пошкоджень, що перешкоджають чи створюють

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ТС 18510265

Арк  
39

небезпеку в подальшій роботі посудини. При також огляді особливу увагу звертають на наявність тріщина, розривів швів, випуклостей, слідів корозії, тощо. Після успішного проходження оглядів, посудини піддаються гідравлічним випробуванням, що мають на меті перевірку міцності посудини та щільності з'єднань. Значення тиску, при якому проводиться гідравлічне випробування приймається у відповідності з технічною документацією на посудину. Випробування триває 5 хв. Посудини під тиском, що призначені для роботи із шкідливими речовинами, перевіряються або повітрям або інертним газом за робочого тиску. Результати такої перевірки та термін її дії записуються до технічного паспорту посудини.

До роботи допускаються лише ті посудини, що пройшли технічний огляд і виключно на підставі письмового розпорядження керівництва підприємства.

До обслуговування посудин допускаються лише особи, яким виповнилося 18 років і які пройшли відповідне навчання. Перевірка знань персоналу що обслуговує посудини проводиться, як мінімум, один раз на рік.

Інструкції щодо режиму роботи та правил безпечної експлуатації посудини мають бути у вільному доступі. У разі порушення правил чи режимів експлуатації, робота посудини має бути негайно припинена.

З метою контролю параметрів роботи, посудини мають бути обладнані приладами виміру тиску та температури, запобіжними клапанами та скидною арматурою. Перевірка такого обладнання має проходити не рідше одного разу на рік [32-35].

#### 4.2 Порядок дій у разі виникнення пожежі на об'єктах промисловості

Обов'язки працівників у разі виникнення пожежі:

1. Негайно викликати службу пожежної безпеки.
2. Повідомити про виникнення пожежі керівника чи інших посадових осіб.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 18510265	Арк
						40



3. За необхідністю викликати швидку медичну допомогу, газову службу, тощо.

Керівник чи інша посадова особа, що прибула на місце виникнення пожежі, зобов'язана:

1. Перевірити чи викликана служба пожежної безпеки.
2. Організувати евакуацію працівників. У разі необхідності, надати медичну, психологічну чи іншу допомогу. Переконатися, що усі працівники знаходяться на безпечній відстані від місця пожежі.
3. Організувати дії працівників з метою ліквідації пожежі власними силами до прибуття відповідної служби.
4. Припинити усі роботи в районі виникнення пожежі (крім робіт з ліквідації вогню).
5. У разі необхідності припинити електропостачання, роботу транспортних засобів, обладнання та установок. Перекрити газопостачання, систему вентиляції приміщення, у якому виникла пожежа та прийняті інші заходи щодо стримання поширення пожежі.
6. Перевірити роботу систем оповіщення, установок пожежогасіння, протидимного захисту.
7. Організувати зустріч та супровід служ пожежної безпеки.
8. Організувати заходи по евакуації матеріальних цінностей.
9. Здійснювати контроль за дотриманням правил безпеки праці під час гасіння пожежі.

У разі прибуття на місце аварій служб пожежної безпеки організувати повний і безперешкодний доступ до об'єкту, окрім випадків передбачених внутрішніми правилами та розпорядженням щодо комерційної таємниці [32,33].

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата						Арк
					ТС 18510265					41
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

## ВИСНОВОК

Нафтогазове виробництво характерне тим, що на всіх його стадіях здійснюється шкідливий вплив на навколишнє середовище загалом, і на всі його сфери зокрема. Перед підприємствами нафтогазового комплексу постає завдання щодо здійснення превентивних заходів, пов'язаних із запобіганням забрудненню довкілля та раціональним використанням природних ресурсів.

Завдяки наявності сірки в нафті в технологічному процесі її стабілізації, дегазації та транспортуванні утворюються та можуть викидатися в атмосферне повітря різні за номенклатурою сульфурвмісні органічні та неорганічні сполуки, серед яких переважно меркаптани і сірководень. Сірководень є найбільш поширеним із токсичних компонентів нафти, газу і газового конденсату. Монтаж дорогих установок для абсорбції сірководню з нафти, газу і нафтопродуктів (НП) часто не ефективний через його низьку концентрацію. У зв'язку з цим найбільш прийнятним способом видалення сірководню є застосування поглиначів, призначених для його хімічного зв'язування у період транспортування і зберігання вуглеводнів.

В роботі були розглянуті основні методи очистки попутного нафтового газу від сірковмісних сполук. Також було проведено розрахунок абсорбера.

В розділі з охорони праці наведено правила безпеки під час експлуатації посудин, що працюються під тиском та порядок дій під час пожежі на об'єктах промисловості.

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата						Арк
					ТС 18510265					42
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

## ПЕРЕЛІК ДЖРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Мумриков Михаил Вячеславович. Высокоэффективные поглотители сероводорода из мазута на основе азометинов / Специальность 02.00.13 – «Нефтехимия» дисс. канд. техн. наук. Уфа, 2016. 140 с.

2. Мурин В. И. Технология переработки природного газа и конденсата: справочник. Ч. 1. М.: Недра, 2002. 517 с.

3. Колесников А. Г. Интенсификация процессов очистки продукции скважин от сероводорода и меркаптанов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук Специальность 25.00.17 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений. Уфа: ГУП «Институт проблем транспорта энергоресурсов», 2009. 25 с.

4. Бетинская Оксана Андреевна. Организация рабочего процесса в универсальной камере сгорания газотурбинной установки для утилизации попутного нефтяного газа. Автореф. канд. техн. наук. 05.04.12 – Турбомашин и комбинированные турбоустановки. Екатеринбург : ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина». 2017, 24 с.

5. Колесников А. Г. Интенсификация процессов очистки продукции скважин от сероводорода и меркаптанов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук Специальность 25.00.17 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений. Уфа: ГУП «Институт проблем транспорта энергоресурсов», 2009. 25 с.

6. Ахсанов Р. Р., Данилов В. И., Нурмухаметов Н. Х. Стабилизация нефти с помощью гидроциклона. Уфа: Изд-во Фонда содействия развитию науч. исслед., 1996. 118 с.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	
Інв.№дубл.	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

						TC 18510265	Арк 43
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			

7. Исмагилов Ф. Р., Сафин Р. Р., Гайдукевич В. В., Исмагилова З. Схема стабилизации нефти с блоком очистки газа от сероводорода. ВЕСТНИК АГТУ. 2004. № 4 (23). С. 55–63.

8. Sohbi B., Meakaff M., Emtir M., Elgarni M. The Using of Mixing Amines in an Industrial Gas Sweetening Plant. World Academy of Science, Engineering and Technology. 2007.

9. Пангаева Н. А., Ильчибаева А. К., Руднев Н. А., Абызгильдин А. Ю. Пути повышения энергоэффективности процесса очистки газа от кислых примесей. Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2016. № 3. С. 157–170.

10. Драчевский С. В., Каратун О. Н. Особенности осушки углеводородного газа, содержащего сернистые соединения. Вестник АГТУ. 2008. № 6 (47). С. 158–160.

11. Сафин Рашит Рафаилович. Разработка научных основ повышения эффективности технологий и способов защиты окружающей среды при переработке сероводородсодержащих газов и сернистых нефтей. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / 05.17.07. – Химия и технология топлив и специальных продуктов. Астрахань, 2010. 47 с.

12. Пат. РФ 2242499, С10G29/20. Способ очистки нефти, газоконденсата и их фракций от меркаптанов и сероводорода / Исмагилов Ф. Р., Андрианов В. М., Сафин Р. Р. и др.; заявник та патентовласник Исмагилов Ф. Р., Андрианов В. М. заявл. 12.03.2003 ; опубл. 20.12.2004.

13. Насретдинов Рифкат Габдуллович. Особенности хемосорбционной очистки попутного нефтяного газа от сероводорода в промышленных условиях. Автореф. диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук, 02.00.13 – нефтехимия. Казань : ГОУ ВПО «Казанский государственный технологический университет», 2010. 16 с.

14. Пат. 2385759 РФ. Способ очистки попутного нефтяного газа от сероводорода и установка для его осуществления / Копылов А.Ю., Мазгаров

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 18510265	Арк
						44

А.М., и др.; заявник та патентовласник Копылов А.Ю., Мазгаров А.М., и др. – опубл. 10. 04.2010.

15. Пат. 2050314С1 РФ, С01В17/04, В01D53/34. Абсорбент для очистки газа от сероводорода / Набоков С. В., Орлова Т. Б., Петличенко Н. В.; заявник та патентовласник Всероссийский научно-исследовательский институт природных газов. – заявл. 29.12.1991; опубл. 20.10.1995.

16. Манидина Евгения Анатольевна. Обезвреживание оксида серы (IV) промышленных газовых выбросов с помощью растворов соединений железа (II, III). Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук Специальность 05.17.01 – технология неорганических веществ. Днепропетровск : Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», 2016. 153 с.

17. Plyatsuk L.D., Ablieieva I.Yu., Vaskin R.A., Yeskendirov M.Z., Hurets L.L. Mathematical modeling of gas-cleaning equipment with a highly developed phase contact surface. Journal of Engineering Sciences. 2018. Volume 5. Issue 2. P. F19–F24.

18. Plyatsuk L., Chernysh Y., Ablieieva I., Burla O., Hurets L. Research into biotechnological processes of plant Snutrition stimulation by the products of phosphogypsum disposal in gas cleaning systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 3, no. 10 (93). P. 6–14. doi:http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2018.132240.

19. Аблеева И. Ю. Підвищення рівня екологічної безпеки при утилізації відходів нафтогазового видобутку: 21.06.01. – Суми, 2016, – 194 с.

20. Койшыбаев А.Д. Анализ выбора оптимального метода сепарации нефти при утилизации попутного нефтяного газа на месторождении Кенлык. Научно-технический журнал «Нефть и газ». – 2017. - №2(98). -С. 93–97.

21. Кондауров С.Ю. Перспективы использования адсорбционных технологий для подготовки газа к транспорту. Газовая промышленность. – 2010. – №10. – С. 52–55.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№ Інв.№дубл.	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ТС 18510265

Арк
45

22. Яворський, В. Т.: Технологія сірки і сульфатної кислоти [Текст] / В. Т. Яворський. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2010. – 404 с.

23. Бубнов, В. П. Исследование эколого–экономических показателей систем очистки газовых выбросов от диоксида серы [Текст] / В. П. Бубнов, Д. А. Довнар. // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2013. – № 1. – С. 65–72.

24. Смотраев, Р. В. Исследование термодинамического равновесия процесса абсорбции диоксида серы электрохимически обработанным поглотительным раствором [Текст] / Р. В. Смотраев, Е. А. Манидина // Вопросы химии и химической технологии. – 2013. – № 2. – С. 92–96.

25. Михайленко, Г. Г. Защита воздушного бассейна от оксидов серы [Текст] / Г. Г. Михайленко, Д. В. Миронов, И. Я. Сигал. – Одесса: Астропринт, 2001. – 84 с. 9. Цейтлин, М. А. Абсорбционная очистка газов в содовом производстве [Текст] / М. А. Цейтлин, В. Ф. Райко, Л. Л. Товажнянский, В. П. Шапорев. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. – 144 с.

26. Гидродинамические процессы: учебное пособие/ Под ред. Г.И.Николаева.- Улан – Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2003. – 136с.

27. Дытнерский Ю.М. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. Изд.2-е. В 2-х кн. Часть 2.Массообменные процессы и аппараты. М.: Химия, 1995.-368 с.: ил.

28. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М., «Химия», 2004.- 752с.

29. Массообменные процессы: Учебное пособие/Под ред. Г.И. Николаева. - Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2005.-238с.

30. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию./ Под ред. Ю.И. Дытнерского. - М.: Химия, 1983-272с.

31. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов. – Л.: Химия, 1976.-552с.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№ Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ТС 18510265

Арк  
46

32. Охорона праці при геологорозвідувальних роботах: навч. посіб. / В.І. Голінько, О.В. Безщасний; М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2014. – 218 с

33. Грибан В. Г., Негодченко О. В. Охорона праці. Навч. посіб. 2ге вид.– К.: Центр учбової літератури, 2011. – 280 с.

34. НПАОП 0.00-1.07-94 «Правила пристрою і безпечної експлуатації судин, що працюють під тиском (зі змінами і доповненнями)»

35. НПАОП 0.00-1.07-94 «Правила пристрою і безпечної експлуатації судин, що працюють під тиском (зі змінами і доповненнями)».

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 18510265	Арк
						47