

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ № 5

«ВИРОБНИЦТВО СУЛЬФАТНОЇ КИСЛОТИ КОНТАКТНИМ МЕТОДОМ»

З ДИСЦИПЛІНИ «ЗАГАЛЬНА ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ»

ЗА ОСВІТНІМ РІВНЕМ «БАКАЛАВР»

ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

161 «ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРІЯ»,

152 «МЕТРОЛОГІЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА»,

151 «АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ»,

226 «ФАРМАЦІЯ, ПРОМИСЛОВА ФАРМАЦІЯ»,

133 «ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ»

Затверджено на засіданні
кафедри процесів, апаратів та
загальної хімічної технології
Протокол № 8 від 22.06.2021 р.

Методичні вказівки до лабораторних занять № 5 «Виробництво сульфатної кислоти контактним методом» з дисципліни «Загальна хімічна технологія» за освітнім рівнем «бакалавр» для студентів спеціальностей 161 «Хімічні технології та інженерія», 152 «Метрологія та інформаційно-вимірjuвальна техніка», 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», 226 «Фармація, промислова фармація», 133 «Галузеве машинобудування» / Укл.: В. А. Коток, І. В. Скар, В.А. Мізін – Дніпро: ДВНЗ УДХТУ, 2022. – 22 с.

Укладачі: В.А. Коток, канд. техн. наук

І.В. Скар, канд. хім. наук

В. А. Мізін, канд. техн. наук

Відповідальний за випуск В. Д. Барський, д-р. техн. наук

Вказівки містять теоретичні основи процесу виробництва сульфатної кислоти контактним методом з сірчаного колчедану, опис технологічної схеми процесу, експериментальної лабораторної установки, що моделює сульфатно-кислотне виробництво. Наведено порядок проведення роботи на лабораторній установці, необхідні методики аналізів та обробки експериментальних даних, вимоги щодо звіту з лабораторної роботи, перелік контрольних питань та навчальних посібників, що рекомендуються для поглибленого вивчення матеріалу.

Навчальне видання

Методичні вказівки

до лабораторних занять № 5 «Виробництво сульфатної кислоти контактним методом» з дисципліни «Загальна хімічна технологія» за освітнім рівнем «бакалавр» для студентів спеціальностей 161 «Хімічні технології та інженерія», 152 «Метрологія та інформаційно-вимірjuвальна техніка», 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», 226 «Фармація, промислова фармація», 133 «Галузеве машинобудування»

Укладачі: КОТОК Валерій Анатолійович

СКНАР Ірина Володимирівна

МІЗІН Віталій Антонович

Редактор В.П. Синицька

Комп'ютерна верстка В.П. Синицька

Підписано до друку 11.05.2022. Формат 60×841/16. Папір ксерокс. Друк різнограф. Умов. друк. арк. 1,01. Обл.-вид. арк. 1,06. Тираж 100 прим. Зам. № 146. Свідоцтво ДК № 5026 від 16.12.2015

ДВНЗ УДХТУ, просп. Гагаріна, 8, м. Дніпро, 49005

Редакційно-видавничий відділ

ВСТУП

Сульфатна кислота (стара назва – сірчана кислота) належить до числа сильних кислот. Вона зручна у використанні, не димить, не має запаху, у концентрованому вигляді не руйнує чорні метали. Цими позитивними якостями сульфатної кислоти і пояснюється її широке застосування. Вона використовується у виробництві найрізноманітніших речовин: мінеральних солей, добрив, інших кислот, органічних сполук, барвників, димоутворювальних, вибухових речовин та ін.

За кількістю сульфатної кислоти, що виробляється на душу населення, судять про ступінь хімізації країни. Більші масштаби виробництва забезпечуються завдяки впровадженню ефективних заходів, що забезпечують поліпшення техніко-економічних показників: підвищення одиничної потужності апаратів, застосування системи подвійного контактування і подвійної абсорбції (ПКПА) та ін.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА СУЛЬФАТНОЇ КИСЛОТИ

1.1 Стадії виробництва сульфатної кислоти

В ХТС виробництва сульфатної кислоти контактним методом можна виділити три послідовно з'єднані підсистеми:

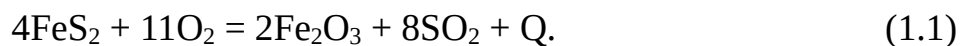
- отримання та очистки двоокису сірки (сірчистого газу);
- окиснення двоокису сірки до триокису сірки (сірчаного ангідриду сірки) у присутності каталізатора;
- хемосорбцію триокису сірки з утворенням сульфатної кислоти.

1.2 Отримання двоокису сірки

Перша стадія процесу здійснюється шляхом спалювання (випалу) сірки або іншої сировини, що містить сірку (сірчаного та вуглистого колчедану, руд кольорових металів, сірководню).

В даній роботі описується спосіб отримання сірчистого газу шляхом випалу сірчаного колчедану, головним складником якого є пірит (FeS_2), який містить 53,3% сірки і 46,7% заліза.

Окрім FeS_2 в природний колчедан входить ряд домішок (сульфіди інших металів, в тому числі миш'яку та селену, а також інші мінерали). У зв'язку з цим вміст сірки в колчедані може коливатися від 30 до 52%. Випал сірчаного колчедану описується сумарною реакцією



В результаті випалу колчедану утворюється випальний (пічний) газ (в нього переходить 98–99,5% всієї сірки), що містить SO_2 , O_2 , N_2 і невелику кількість SO_3 .

Під час випалу колчедану одночасно з окисненням піриту відбувається також окиснення сульфідів інших металів, що в ньому містяться: миш'як і селен утворюють газоподібні оксиди (As_2O_3 і SeO_2), які потрапляють у склад випального газу; у склад цього газу входить і волога колчедану.

Оксиди заліза, неокиснене сірчисте залізо та інертні домішки складають недогарок. У процесі окиснення зерна піриту покриваються плівкою оксидів заліза ($\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$), що ускладнює дифузію SO_2 у газову фазу. Тому огарок завжди містить деяку кількість (0,5–2%) невипаленої сірки.

Процес випалу є складним, необоротним, некаталітичним, екзотермічним, гетерогенним, швидкість якого відображається рівнянням: $r = KF\Delta C$. З аналізу рівняння витікають шляхи інтенсифікації процесу випалу. Для збільшення рушійної сили процесу (ΔC) застосовується надлишок повітря (1,2–1,8 від теоретичної потреби) та збагачення колчедану методом флотації. Застосування для випалу збагаченого киснем повітря не знайшло практичного використання, бо вимагає великих витрат. Для збільшення поверхні контакту (F) сульфідів заліза з киснем повітря і полегшення дифузії найважливіше значення має подрібнення колчедану. Збільшення швидкості процесу за рахунок зростання спостережуваної константи швидкості (K) досягається підвищенням температури. Оптимальне значення температури – близько 800°C , подальше її підвищення обмежується спіканням частинок колчедану, що призводить до зменшення поверхні контакту. При високій температурі процес випалу протікає у дифузійній області і для його інтенсифікації необхідне перемішування, характер якого визначається типом печі, що застосовується.

1.3 Окиснення двоокису сірки на каталізаторі

Окиснення двоокису сірки до сірчаного ангідриду протікає на поверхні зернин каталізатора за реакцією



Процес окиснення – простий, зворотний, гетерогенно-каталітичний, екзотермічний, протікає зі зменшенням об'єму. Найбільший вихід сірчаного ангідриду спостерігається з газової суміші приблизно наступного оптимального складу: 7% SO_2 , 11% O_2 , 82% N_2 .

Так як реакція окиснення двоокису сірки зворотна і утворення SO_3 супроводжується виділенням теплоти, вихід сірчаного ангідриду (або ступінь перетворення двоокису сірки) з підвищенням температури зменшується. Практично при 400°C і нижче реакція окиснення SO_2 в SO_3 незворотна, тобто рівновага зсунута вправу сторону; при 1000°C сірчаний ангідрид майже повністю дисоціює на двоокис сірки і кисень. Отже, з точки зору повноти перетворення SO_2 в SO_3 , необхідно працювати при як можливо нижчій

температурі. Однак температурний режим контактного окиснення SO_2 в SO_3 визначається властивостями каталізатора, що використовується в промисловості. На ванадієвому каталізаторі окиснення SO_2 починає протікати з достатньою швидкістю лише при $420\text{--}440^\circ\text{C}$ (температура запалювання). При температурі понад 600°C активність каталізатора починає падати. Таким чином, температурний інтервал контактного окиснення SO_2 в SO_3 обмежено означеними температурами. В цьому інтервалі зворотну екзотермічну реакцію необхідно проводити по лінії оптимальних температур (ЛОТ). Спочатку вхідну суміш підігрівають до температури запалювання каталізатора. Після цього треба відводити теплоту, що виділяється в результаті реакції, знижуючи температуру реакційної маси від 600 до 430°C . Для здійснення такого режиму застосовуються поличні контактні апарати, що являють собою каскад адіабатичних реакторів витиснення з проміжним відводом теплоти.

1.4 Абсорбція сірчаного ангідриду

Поглинання (абсорбція) SO_3 розчином сульфатної кислоти є останньою стадією виробництва сульфатної кислоти. В процесі абсорбції SO_3 розчином сульфатної кислоти протікає екзотермічна хімічна реакція:



Найбільшу абсорбційну здатність по відношенню до SO_3 має $98,3\%$ -на кислота, що відповідає її азеотропному складу. Над більш розбавленою кислотою зростає тиск парів води. Частина сірчаного ангідриду з'єднується з цими парами, утворюючи пару сульфатної кислоти, яка при охолодженні конденсується в об'ємі з утворенням важковловлюваного сульфатнокислого туману. Над 100% -ною сульфатною кислотою або над олеумом рівноважний парціальний тиск SO_3 зростає, тому SO_3 абсорбується 100% -ною сульфатною кислотою не повністю.

У тих випадках, коли треба забезпечити випуск олеуму, перед моногідратним абсорбером, що зрошується $98,3\%$ -ною сульфатною кислотою, встановлюється олеумний абсорбер, який зрошується олеумом, що містить $18,5\text{--}20\%$ надлишку SO_3 . В олеумному абсорбері поглинається тільки частина SO_3 ($40\text{--}60\%$). Залишки сірчаного ангідриду потім поглинаються в моногідратному абсорбері.

2 СТИСЛА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОМИСЛОВОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ

З метою отримання сірчастого газу сірчаний колчедан може випалюватися у реакторах (печах) трьох типів:

- механічних поличних, в яких колчедан перемішується в шарі;
- пилоподібного випалу з розпиленням колчедану в потоці повітря;
- з киплячим шаром колчедану.

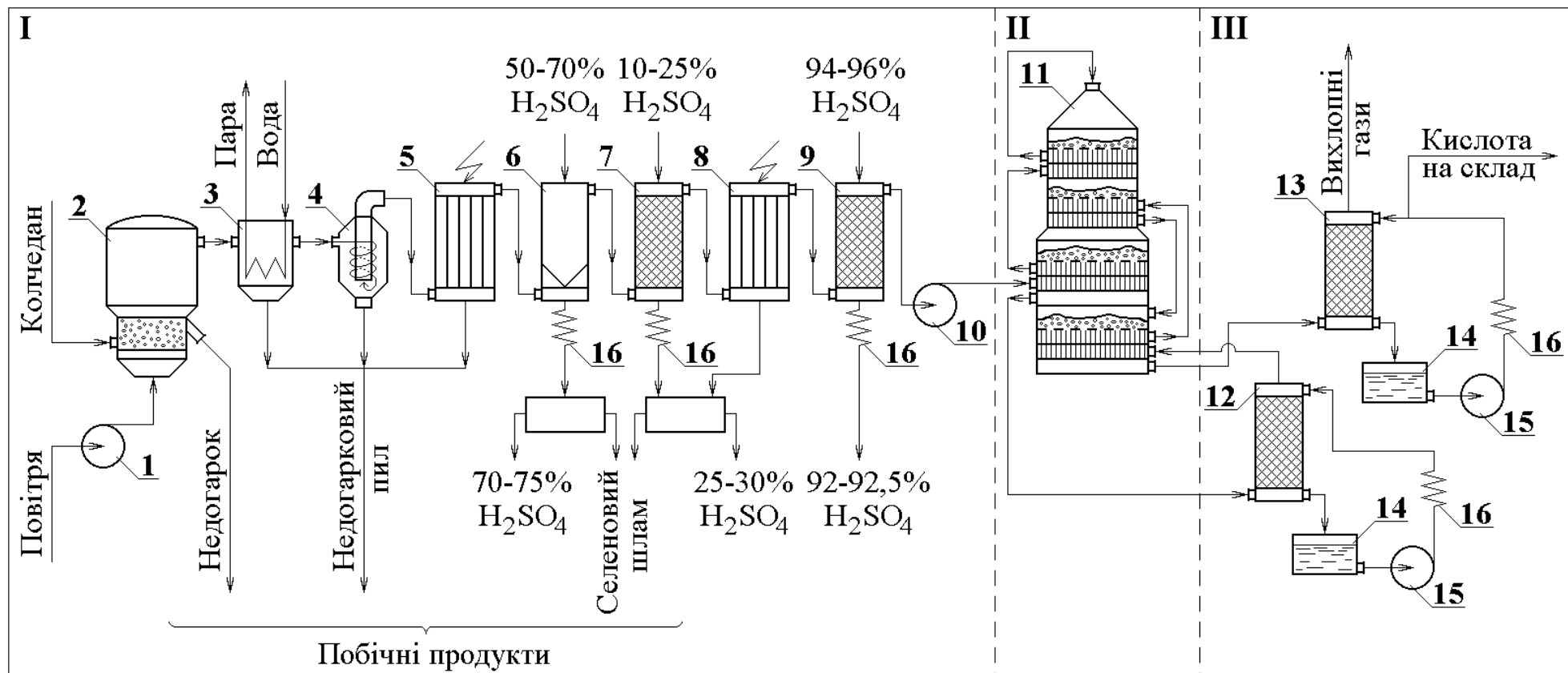


Рис. 2.1. Технологічна схема виробництва сульфатної кислоти з колчедану контактним методом з використанням процесу ПКПА:

I – отримання та очистка сірчистого газу; II – окиснення сірчистого газу до сірчаного ангідриду в присутності каталізатора; III – абсорбція сірчаного ангідриду з утворенням сульфатної кислоти;

1, 10 – нагнітачі; 2 – піч КШ; 3 – котел-утилізатор; 4 – циклон; 5 – сухий електрофільтр; 6, 7 – перша і друга промивні башти; 8 – мокрий електрофільтр; 9 – сушильна башта; 11 – контактний апарат; 12, 13 – моногідратні абсорбери; 14 – збірники кислоти; 15 – насоси; 16 – холодильники кислоти

Найбільш досконалими реакторами для випалу колчедану є печі киплячого шару (скорочено “печі КШ”). Інтенсивність їхньої роботи приблизно вдвічі вища порівняно з печами пилоподібного випалу і в 10 разів вища, ніж при використанні механічних поличних печей.

“Киплячий” (або зважений, псевдоорідинений) шар утворюється при пропусканні повітря знизу вверх через шар подрібненого сірчаного колчедану з такою швидкістю, при якій частинки колчедану переміщуються (зважуються) в потоці повітря, але не покидають меж киплячого шару (не видувуються потоком газу та не провалюються крізь решітку, на яку завантажують колчедан). Такий стан реагуючої системи забезпечує інтенсивну взаємодію речовин, що беруть участь у реакції. При цьому температура по всьому об’єму киплячого шару швидко вирівнюється.

Технологічна схема виробництва сульфатної кислоти з сірчаного колчедану наведена на рис. 2.1. Піч КШ 2 являє собою вертикальну порожнисту камеру циліндричної форми з листової сталі, футеровану зсередини вогнетривкою цеглою. Внизу камери розміщена решітка, на яку шнековим підживлювачем подається колчедан. Знизу через решітку і шар колчедану нагнітачем 1 подається повітря. Випальний газ виходить з верхньої частини печі. Піч КШ за гідродинамічним режимом руху газової фази близька до режиму витіснення, за твердою фазою – до режиму змішування. За тепловим режимом піч КШ являє собою ізотермічний реактор з відводом надлишкової теплоти за рахунок введення в піч секції котла-утилізатора (на схемі він показаний окремо).

В зв’язку з великою інтенсивністю роботи печі КШ спостерігається значний винос пилу з газами (до 300 г/м^3), що погіршує техніко-економічні показники процесу за рахунок забруднення апаратури та каталізатора. Гази очищають від пилу механічним та електричним способами (груба очистка в котлі-утилізаторі 3, циклоні 4 та електрофільтрі 5). Для остаточної очистки газів від пилу і шкідливих домішок (сполук миш’яку, селену та парів води) застосовують мокру очистку (промивання розчинами сульфатної кислоти в промивних баштах 6 і 7) та “мокру” електроочистку в електрофільтрі 8. Очищений та висушений за допомогою концентрованої сульфатної кислоти в сушильній башті 9 випальний газ через нагнітач 10 надходить до контактного апарата 11.

Для забезпечення оптимального температурного режиму окиснення SO_2 до SO_3 найбільш часто використовуються поличні контактні апарати з внутрішнім теплообміном. За гідродинамічним режимом вони являють собою каскад реакторів витіснення з проміжним охолодженням, за тепловим – каскад адіабатичних реакторів.

Оскільки діючі контактні сульфатнокислотні установки мають велику одиничну потужність, кількість SO_2 , що викидається з вихлопними газами, дуже велика навіть при використанні п’ятишарового контактного апарата, де досягається ступінь перетворення SO_2 98%. Тому для зниження концентрації SO_2 у вихлопних газах використовують процес подвійного контактування – подвійної абсорбції (ПКПА).

Зменшення концентрації SO_2 при використанні процесу ПКПА досягається за рахунок виведення продукту реакції (SO_3) із зони реакції. Таким чином, подвійне контактування складається з двох етапів окиснення SO_2 на каталізаторі. На першому етапі процесу ступінь перетворення складає близько 90%. Перед другим етапом контактування з газової суміші виділяють сірчаний ангідрид, в результаті чого рівновага реакції зміщується в сторону утворення SO_3 , тобто підвищується рівноважний ступінь перетворення, що відповідно призводить до збільшення фактичного ступеня перетворення. При використанні процесу ПКПА фактичний ступінь перетворення складає $99,5 \div 99,7\%$.

Всередині контактного апарата знаходяться чотири решітки з шаром контактної маси на кожній. Під решітками встановлено трубчаті теплообмінники з горизонтальними спрямовуючими перегородками. Гази, що надходять до контактного апарату, послідовно проходять міжтрубний простір теплообмінників, розташованих під третім та першим шаром контактної маси, де нагріваються до 450°C за рахунок теплоти газів, що пройшли через контактну масу. З цією температурою гази надходять у перший, а потім у другий і третій шари контактної маси. Тут відбувається екзотермічна реакція окиснення SO_2 до SO_3 , температура газів підвищується, але, пройшовши черговий шар каталізатора, гази входять у трубний простір відповідного теплообмінника, де віддають частину теплоти газам, що надходять на контактування. Таким чином, за допомогою теплообмінників між шарами контактної маси можна досягти максимального наближення до оптимального температурного режиму, регулюючи температуру по висоті контактного апарата.

Після проходження газом третього шару контактної маси його подають у проміжний моногідратний абсорбер 12, де циркулюючою через збірник 14, насос 15 і холодильник 16 сульфатною кислотою поглинається частина SO_3 , а потім, через теплообмінники, розташовані під четвертим і другим шарами контактної маси, в четвертий шар контактної маси. Пройшовши четвертий шар контактної маси та охолонувши в міжтрубному просторі розташованого під ним теплообмінника до температури $40\text{--}50^\circ\text{C}$, газ подається в моногідратний абсорбер 13 і далі, після очистки від залишку SO_2 та SO_3 , через вихлопну трубу викидається в атмосферу.

3 МЕТА РОБОТИ

Моделювання процесу виробництва сульфатної кислоти з сірчаного колчедану контактним методом. Визначення основних кількісних характеристик процесу та отриманого продукту.

4 ОПИС ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ

Лабораторна установка для виробництва сульфатної кислоти контактним методом, показана на рис. 4.1, складається з промивної склянки 2; трубчастих електропечей 3 та 4, моделюючих випальну піч і контактний вузол відповідно; абсорберів SO_3 5, моделюючих абсорбційну дільницю сульфатнокислотного заводу; абсорберів для поглинання неокисненого SO_2 6; буферних склянок 7; повітряного мікрокомпресора 1.

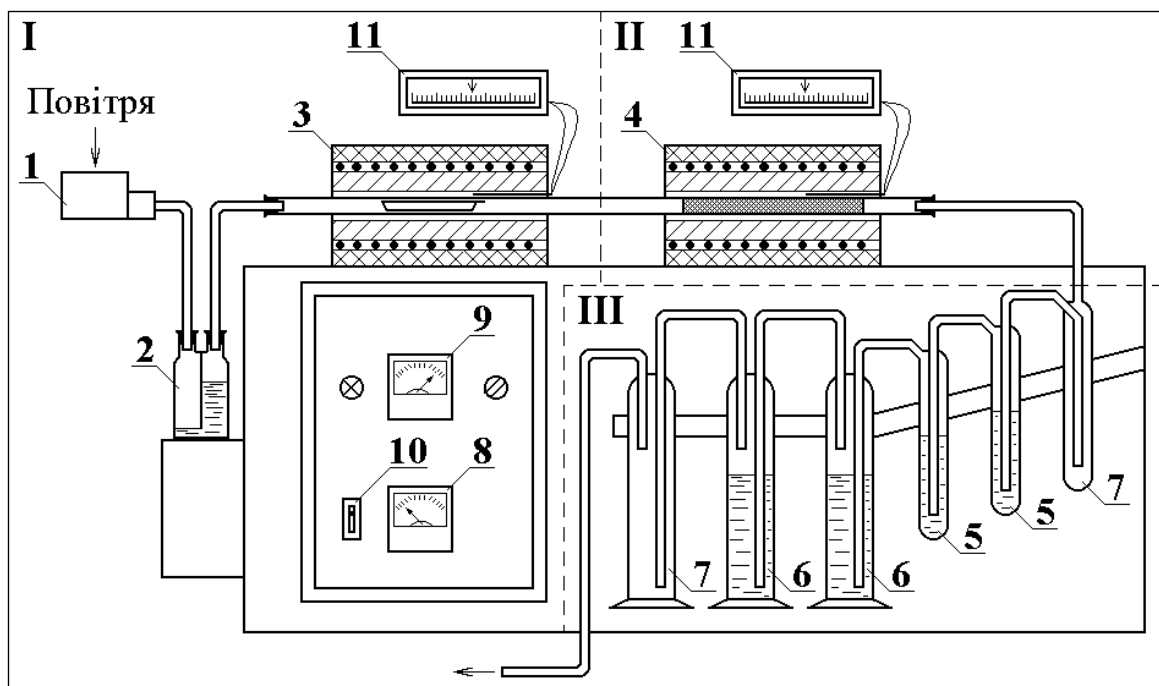


Рис. 4.1. Схема лабораторної установки для виробництва сульфатної кислоти контактним методом:

I – отримання SO_2 ; II – окиснення SO_2 до SO_3 на каталізаторі;
III – абсорбція SO_3 та SO_2 ;

1 – повітряний мікрокомпресор; 2 – промивна склянка; 3 – піч випалу колчедану; 4 – контактний апарат; 5 – абсорбери для поглинання SO_3 ; 6 – абсорбери для поглинання SO_2 ; 7 – буферні склянки; 8 – регулятор температури в контактному апараті; 9 – регулятор температури в печі випалу колчедану; 10 – вмикач; 11 – прилади

Призначення промивної склянки 2, заповненої концентрованою сульфатною кислотою – осушення повітря, яке використовується для випалювання колчедану в печі 3 та окиснення SO_2 до SO_3 в печі 4, для запобігання утворенню в системі важковловлюваної туманоподібної сульфатної кислоти.

В електричній печі 3 розташовують порцеляновий човник зі заздалегідь зваженою на технічних вагах наважкою колчедану, маса якої задається викладачем.

В електричну піч 4 завантажено ванадієвий каталізатор.

Сірчаний ангідрид уловлюється в абсорберах 5 концентрованою сульфатною кислотою. Залишок неокисненого двоокису сірки уловлюється в абсорберах 6, заповнених 1,0 М розчином лугу (кількість якого заздалегідь розраховують за заданими викладачем вихідними даними) (див. табл. 7.1).

Для вирівнювання тиску в системі та уловлювання крапель рідини, що виносяться з газовим потоком, передбачені буферні склянки 7.

Швидкість проходження газу через абсорбери 5 встановлюють таким чином, щоб не було виносу бризок сульфатної кислоти з них та не утворювався туман сульфатної кислоти в абсорберах 6.

5 ПИТАННЯ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

При виконанні даної роботи забороняється:

- вмикати установку без дозволу викладача;
- вмикати та вимикати печі мокрими руками;
- залишати без нагляду включену установку.

Гарячий порцеляновий човник необхідно брати тільки тигельними щипцями.

Кожну рідину належить відбирати за допомогою окремого вимірювального посуду – сульфатна кислота, розчини лугу, йоду і натрій тіосульфату відміряються бюретками, на яких зазначена назва відповідної рідини.

Особливої обережності слід дотримуватися при роботі із сульфатною кислотою. При попаданні сульфатної кислоти на відкриті ділянки шкіри невідкладно промити їх рясним струменем води та обробити содовим розчином.

6 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

6.1 Попередні зауваження

При виконанні роботи необхідно:

- а) уважно ознайомитися із завданням;
 - б) не захащувати своє робоче місце сторонніми предметами, що не стосуються виконуваної роботи;
 - в) не відволікатися та не заважати товаришам, нічого не брати з іншого столу – все необхідне для виконання роботи наявне на вашому робочому місці;
 - г) при виникненні будь-яких ускладнень звертатися за роз'ясненням до викладача;
 - д) по закінченні роботи навести порядок на робочому місці;
 - е) отриману зміцнену сульфатну кислоту вилити в ту ж склянку, з якої вона була взята для роботи (ні в якому разі не зливати у раковину!).
- Обов'язковим є виконання наведених вище вимог техніки безпеки.

6.2 Виконання роботи

Заздалегідь за заданими викладачем вихідними даними розраховують об'єм 1 М розчину лугу (табл. 7.1). Так як у роботі використовуються два абсорбери для поглинання SO_2 6, в кожен з них за допомогою бюретки слід залити половину розрахованого об'єму розчину лугу. В абсорбери 6 для збільшення об'єму розчинів також додають по 30 мл дистильованої води (об'єм води вимірюють циліндром).

Для кількісного контролю процесу утворення SO_3 абсорбери 5 зважують на спеціальних вагах для зважування сульфатної кислоти тричі:

- до досліду порожніми;
- до досліду після наповнення кожного з них за допомогою бюретки концентрованою сульфатною кислотою по 25 мл (визначення початкової маси H_2SO_4);
- після досліду (визначення приросту маси SO_3).

Дані за результатами зважування абсорберів для кислоти заносять до табл. 8.1.

На технічних вагах у порцеляновому човнику зважують задану викладачем кількість сірчаного колчедану. Дані за результатами зважування човника заносять до табл. 8.2.

По досягненні температури 700–800⁰С в електропечі 3 і 450⁰С в електропечі 4 човник з наважкою колчедану розташовують у печі 3 і вмикають повітряний мікрокомпресор 1.

Під час протікання процесу отримання сульфатної кислоти визначають її початкову концентрацію.

Дослід ведуть заданий викладачем час, вимикають печі і мікрокомпресор, витягають човник з огарком з печі 3, розташовують його у витяжній шафі і зважують після охолодження. Після цього визначають приріст маси SO₃ в абсорберах 5 і виконують визначення кількості поглинутого розчином лугу SO₂.

7 МЕТОДИКИ АНАЛІЗІВ І ВИЗНАЧЕНЬ

7.1 Визначення орієнтовної кількості 1 М розчину лугу для абсорбції SO₂, що не окиснився на каталізаторі

Даний розрахунок виконується перед початком роботи і передбачає знання наступних вихідних даних, що задаються викладачем:

- маса наважки сірчаного колчедану;
- вміст сірки в сірчаному колчедані;
- орієнтовний ступінь перетворення SO₂.

Вихідні дані і результати розрахунків заносять до табл. 7.1.

Масу сірки в колчедані визначають за формулою, г:

$$m_S = \frac{m_{\text{колч.}} \cdot \omega_S}{100}, \quad (7.1)$$

де $m_{\text{колч.}}$ – маса колчедану, г; ω_S – вміст сірки в колчедані, %.

Максимально можливу масу SO₂, яка може утворитись при спалюванні наважки колчедану, розраховують, з огляду на реакцію горіння піриту і його вмісту в колчедані, за формулою, г:

$$m_{\text{SO}_2}^{\text{макс.}} = \frac{2 \cdot M_{\text{SO}_2}}{M_{\text{FeS}_2}} \cdot m_{\text{FeS}_2}, \quad (7.2)$$

де M_{SO_2} і M_{FeS_2} – молярні маси, відповідно, SO₂ і FeS₂, г/моль; m_{FeS_2} – маса FeS₂ в наважці колчедану, г.

Масу FeS₂ розраховують за формулою, г:

$$m_{\text{FeS}_2} = \frac{M_{\text{FeS}_2}}{2 \cdot M_S} \cdot m_S, \quad (7.3)$$

де M_S – молярна маса сірки, г/моль.

Орієнтовну масу SO_2 розраховують за формулою, г:

$$m_{\text{SO}_2}^{\text{орієнт.}} = \frac{(100 - X_{\text{SO}_2}^{\text{орієнт.}})}{100} \cdot m_{\text{SO}_2}^{\text{макс.}}, \quad (7.4)$$

де $X_{\text{SO}_2}^{\text{орієнт.}}$ – орієнтовний ступінь перетворення SO_2 , %.

Об'єм 1 М розчину NaOH , необхідний для поглинання SO_2 , визначають за формулою, мл:

$$V_{\text{NaOH}} = \frac{2 \cdot m_{\text{SO}_2}^{\text{орієнт.}}}{C_{\text{NaOH}} \cdot M_{\text{SO}_2}} \cdot 1000, \quad (7.5)$$

де C_{NaOH} – концентрація розчину NaOH , моль/л; M_{SO_2} – молярна маса SO_2 , г/моль.

Результати розрахунків заносять до табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Розрахунок об'єму 1 М розчину NaOH для поглинання SO_2

Вихідні дані		Розрахункові дані	
Маса наважки колчедану, г		Маса S в наважці, г	
Вміст S в колчедані, %		Максимально можлива маса SO_2 , г	
Орієнтовний ступінь перетворення, %		Орієнтовна маса SO_2 , г	
		Об'єм 1 М розчину NaOH , мл	

7.2 Визначення початкової концентрації сульфатної кислоти

Визначення початкової концентрації сульфатної кислоти проводять за допомогою заздалегідь зваженого на аналітичних вагах стаканчика, в який поміщують невелику кількість сульфатної кислоти (приблизно 0,5–0,7 мл) і повторно зважують на аналітичних вагах.

За різницею мас стаканчика з кислотою і порожнього стаканчика визначають наважку кислоти. Кислоту переливають у колбу для титрування та змивають залишки кислоти зі стаканчика дистильованою водою. Порожній стаканчик тричі обполіскують дистильованою водою та зливають промивні води у колбу для титрування. Потім в колбу для титрування додають 1–2 краплі індикатору метилоранжу та додають приблизно 50–70 мл дистильованої води. Після цього проводять титрування 1 М розчином лугу, додаючи по краплям розчин лугу з бюретки до переходу рожевої окраски в жовтогарячу.

Концентрацію кислоти розраховують за формулою, %

$$\omega_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{до дослід.}} = \frac{V_{\text{NaOH}} \cdot C_{\text{NaOH}} \cdot M_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{2 \cdot 1000 \cdot m_{\text{нав.}}} \cdot 100, \quad (7.6)$$

де V_{NaOH} – об'єм 1 М розчину лугу, що пішов на титрування, мл; C_{NaOH} – концентрація розчину лугу, моль/л; $m_{\text{нав.}}$ – маса наважки кислоти, г; $M_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ – молярна маса сульфатної кислоти, г/моль.

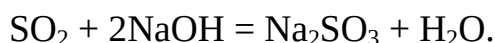
Дані заносять до табл. 7.2.

Таблиця 7.2 – Визначення початкової концентрації сульфатної кислоти

Маса			Об'єм 1 М розчину NaOH, що пішов на титрування наважки, мл	Початкова концентрація H ₂ SO ₄ , %
пустого стаканчика, г	стаканчика з кислотою, г	наважки кислоти, г		

7.3 Визначення кількості SO₂, що не окиснився до SO₃

Залишок двоокису сірки, яка не окислилась до SO₃, поглинається розчином NaOH у абсорберах 6:



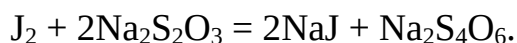
Для визначення кількості поглинутого SO₂ використовують метод зворотного йодометричного титрування. По закінченні експерименту розчини з абсорберів 6 переливають в одну мірну колбу на 250 мл, змиваючи залишки лугу в абсорберах невеликою кількістю дистильованої води. Потім розчин в мірній колбі доводять водою до мітки і ретельно перемішують.

Відбирають піпеткою 5,0 мл розчину з мірної колби в колбу для титрування і додають 1–2 краплі індикатору метилоранжу. Якщо розчин має лужне середовище (жовта окраска індикатору), то його нейтралізують, додаючи по краплям розчин 0,1 М HCl до переходу жовтої окраски в рожеву.

Після нейтралізації розчину до нього додають піпеткою 25,0 мл 0,1 н. розчину йоду і очікують 2–3 хвилини для повного протікання реакції:



Залишок йоду титрують 0,1 М розчином Na₂S₂O₃:



Спочатку титрування проводять без індикатора (крохмалю) до значного посвітління розчину. Після цього у суміш додають 15–20 крапель розчину крохмалю і проводять остаточне титрування йоду до отримання рожевого прозорого кольору розчину. Визначений об'єм розчину Na₂S₂O₃, що витратився на титрування, заносять до табл. 7.3.

Масу SO₂, поглинутого розчином лугу, розраховують за формулою, г:

$$m_{\text{SO}_2}^{\text{погл.}} = \frac{(V_{\text{J}_2} - V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}) \cdot C_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} \cdot M_{\text{SO}_2} \cdot V_{\text{к}}}{2 \cdot 1000 \cdot V_{\text{п}}}, \quad (7.7)$$

де $V_{\text{п}}$ – об'єм розчину з мірної колби, що взято на титрування, мл; $V_{\text{к}}$ – об'єм мірної колби, мл; M_{SO_2} – молярна маса SO₂, г/моль; V_{J_2} – об'єм доданого 0,1 н. розчину йоду; $V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$ – об'єм розчину натрію тіосульфату, що витратився на титрування, мл; $C_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$ – молярна концентрація розчину натрію тіосульфату, моль/л, ($C_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} = 0,1$ моль/л).

Дані з визначення маси SO₂, що не окиснився до SO₃, заносять до табл. 7.3

Таблиця 7.3 – Визначення фактичної маси SO₂, що не окиснився до SO₃.

Об'єм розчину з мірної колби, що взято на титрування, мл	Об'єм 0,1 М розчину Na ₂ S ₂ O ₃ , що витратився на титрування, мл	Маса SO ₂ , г
5,0		

8 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ

8.1 Визначення кількісних критеріїв процесу отримання сульфатної кислоти

Фактичний ступінь перетворення SO₂ розраховується за результатами зважування на технічних вагах абсорберів для поглинання SO₃ 5: пустих, до і після досліду з сульфатною кислотою та за результатом визначення маси SO₂, поглинутого розчином J₂.

Масу кислоти до і після досліду в кожному абсорбері визначають як різницю мас відповідно абсорбера з кислотою до чи після досліду і пустого абсорбера. Приріст маси SO₃ в кожному абсорбері визначають як різницю мас кислоти після і до досліду.

Експериментальні і розрахункові дані з визначення приросту маси SO₃ заносять до табл. 8.1.

Таблиця 8.1 – Визначення приросту маси SO₃

№ абсорберу	Маса абсорберу, г			Маса кислоти, г		Приріст маси SO ₃ , г
	порожнього	з кислотою до досліду	з кислотою після досліду	до досліду	після досліду	
1						
2						
Всього:						

Фактичний ступінь перетворення SO₂ визначають за формулою, %:

$$X_{\text{SO}_2}^{\text{факт.}} = \frac{m_{\text{SO}_3} / M_{\text{SO}_3}}{m_{\text{SO}_3} / M_{\text{SO}_3} + m_{\text{SO}_2}^{\text{погл.}} / M_{\text{SO}_2}} \cdot 100, \quad (8.1)$$

де m_{SO_3} – сумарний приріст маси SO₃ в обох абсорберах, г; $m_{\text{SO}_2}^{\text{погл.}}$ – маса поглинутого SO₂, г; M_{SO_3} – молярна маса SO₃, г/моль.

Масу отриманої при спалюванні наважки колчедану H₂SO₄ розраховують за формулою, г:

$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{колч.}} = \frac{M_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{M_{\text{SO}_3}} \cdot m_{\text{SO}_3}, \quad (8.2)$$

де $M_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ – молярна маса сульфатної кислоти, г/моль.

Відносний вихід H₂SO₄ розраховують за формулою, %:

$$\Phi_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{колч.}}}{m_{\text{S}}} \cdot \frac{M_{\text{S}}}{M_{\text{H}_2\text{SO}_4}} \cdot 100. \quad (8.3)$$

Витратний коефіцієнт з колчедану розраховують за формулою:

$$K_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{колч.}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{колч.}}}{m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{колч.}}} \quad (8.4)$$

Коефіцієнт використання сірки, що вигоріла з сировини, визначають за результатами зважування на технічних вагах човника з колчеданом до і після досліду, як відношення маси сірки, вловленої у вигляді SO_2 й SO_3 ($m_S^{\text{вл.}}$), до маси сірки, що міститься у сировині і вступила в реакцію ($m_S^{\text{виг.}}$).

Результати зважування човника заносять до табл. 8.2.

Таблиця 8.2 – Результати зважування човника для колчедану

Маса човника, г	Маса човника з колчеданом, г	Маса наважки колчедану, г	Маса човника з недогарком після досліду, г	Маса недогарку, г

Коефіцієнт використання сірки розраховують за формулою, %:

$$K_S = \frac{m_S^{\text{вл.}}}{m_S^{\text{виг.}}} \cdot 100 = \frac{0,5 \cdot m_{\text{SO}_2}^{\text{погл.}} + 0,4 \cdot m_{\text{SO}_3}}{1,6 \cdot (m_{\text{колч.}} - m_{\text{недог.}})} \cdot 100, \quad (8.5)$$

де $m_{\text{недог.}}$ – маса недогарка, г.

Масу недогарка розраховують шляхом віднімання маси пустого човника від маси човника з недогарком після досліду.

Розрахунок масової концентрації сульфатної кислоти після досліду проводять з використанням даних табл. 7.2 та 8.1. Масову концентрацію розчину сульфатної кислоти після досліду визначають за формулою, %:

$$C_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{після досл.}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{m_{\text{розч.}}^{\text{після досл.}}} \cdot 100, \quad (8.6)$$

де $m_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ – маса розчиненої кислоти, г; $m_{\text{розч.}}^{\text{після досл.}}$ – маса розчину кислоти після досліду, г.

Масу розчиненої сульфатної кислоти (моногідрату) визначають як суму кислоти, що містилася в вихідному поглинальному розчині, та кислоти, що утворилася внаслідок спалювання наважки колчедану за реакцією (1.1) при взаємодії поглинутого SO_3 з водою вихідного поглинального розчину:

$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{C_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{до досл.}}}{100} \cdot m_{\text{розч.}}^{\text{до досл.}} + m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{колч.}}, \quad (8.7)$$

де $m_{\text{розч.}}^{\text{до досл.}}$ – маса розчину кислоти до досліду, г.

Маси розчинів сульфатної кислоти до і після досліду беруться за даними табл. 8.1.

Дані з визначення фактичного ступеня перетворення SO_2 , маси отриманої H_2SO_4 , відносного виходу H_2SO_4 , видаткового коефіцієнта з колчедану, коефіцієнта використання сірки та концентрації сульфатної кислоти після досліду заносять до табл. 8.3.

Таблиця 8.3 – Кількісні критерії процесу отримання сульфатної кислоти на лабораторній установці

Фактичний ступінь перетворення SO_2 , %	Маса отриманої H_2SO_4 , г	Відносний вихід H_2SO_4 , %	Витратний коефіцієнт з колчедану	Коефіцієнт використання сірки, %	Концентрація H_2SO_4 після досліду, %

8.2 Складання матеріального балансу контактного відділення

Матеріальний баланс складається на основі матеріального розрахунку, як при проектуванні, так і при аналізі роботи підприємства або якоїсь його частини, цеху, установки. Завершенням розрахункової частини роботи є складання МБ контактної відділення і лабораторної установки в цілому.

Рівняння матеріального балансу в загальному випадку має такий вигляд:

$$\sum m_{\text{приб.}} = \sum m_{\text{витр.}}, \quad (8.8)$$

де $m_{\text{приб.}}$ і $m_{\text{витр.}}$ – маси прибуткової і витратної частин МБ, відповідно.

Для контактної відділення лабораторної установки РМБ має вигляд:

$$m_{\text{SO}_2}^{\text{приб.}} + m_{\text{O}_2}^{\text{приб.}} + m_{\text{N}_2}^{\text{приб.}} = m_{\text{SO}_3} + m_{\text{SO}_2}^{\text{витр.}} + m_{\text{O}_2}^{\text{витр.}} + m_{\text{N}_2}^{\text{витр.}}, \quad (8.9)$$

де $m_{\text{SO}_2}^{\text{приб.}}$, $m_{\text{O}_2}^{\text{приб.}}$, $m_{\text{N}_2}^{\text{приб.}}$ – маси SO_2 , O_2 та N_2 в прибутковій частині матеріального балансу; m_{SO_3} , $m_{\text{SO}_2}^{\text{витр.}}$, $m_{\text{O}_2}^{\text{витр.}}$, $m_{\text{N}_2}^{\text{витр.}}$ – маси SO_3 , SO_2 , O_2 та N_2 у витратній частині матеріального балансу.

Критерієм правильності складання матеріального балансу є однаковість мас його прибуткової і витратної частин. При складанні матеріального балансу контактної відділення використовуються дані з табл. 7.3 і 8.1.

Матеріальний баланс оформляється в табличній формі (табл. 8.4).

8.2.1 Складання прибуткової частини матеріального балансу

Масу SO_2 в прибутку розраховують як суму маси SO_2 , який поглинувся в абсорберах з розчином йоду б (табл. 7.3) і маси SO_2 , який окиснився до SO_3 (табл. 8.1) за формулою, г:

$$m_{\text{SO}_2}^{\text{приб.}} = m_{\text{SO}_2}^{\text{погл.}} + \frac{M_{\text{SO}_2}}{M_{\text{SO}_3}} \cdot m_{\text{SO}_3}. \quad (8.10)$$

Так як у схемі лабораторної установки не передбачено пристрій для вимірювання кількості повітря, що подається в процес, коефіцієнт надлишку кисню приймається рівним 1,2 від загальної теоретичної потреби. Так як кисень витрачається на спалювання наважки колчедану та окиснення SO_2 , з урахуванням коефіцієнта надлишку повітря, масу кисню в прибутку розраховують за формулою, г:

$$m_{\text{O}_2}^{\text{приб.}} = k_{\text{O}_2} \cdot \left(m_{\text{O}_2}^{\text{колч.}} + \frac{M_{\text{O}_2}}{2 \cdot M_{\text{SO}_3}} \cdot m_{\text{SO}_3} \right) - m_{\text{O}_2}^{\text{колч.}}, \quad (8.11)$$

де k_{O_2} – коефіцієнт надлишку кисню; $m_{\text{O}_2}^{\text{колч.}}$ – маса кисню, що витратився на спалювання наважки колчедану, г; M_{O_2} – молярна маса O_2 , г/моль.

Масу кисню, що витратився на спалювання колчедану, розраховують за формулою, г:

$$m_{\text{O}_2}^{\text{колч.}} = \frac{11 \cdot M_{\text{O}_2}}{8 \cdot M_{\text{SO}_2}} \cdot m_{\text{SO}_2}^{\text{приб.}}. \quad (8.12)$$

Масу N_2 в прибутку, з огляду на визначену масу кисню і відомий склад повітря, визначають за формулою, г:

$$m_{\text{N}_2}^{\text{приб.}} = \left(m_{\text{O}_2}^{\text{приб.}} + m_{\text{O}_2}^{\text{колч.}} \right) \cdot \frac{g_{\text{N}_2}}{g_{\text{O}_2}}, \quad (8.13)$$

де g_{N_2} і g_{O_2} – масовий вміст азоту і кисню в повітрі (76,7% і 23,3% відповідно).

8.2.2 Складання витратної частини матеріального балансу

Маса SO_3 у витратах розрахована раніше – див. табл. 8.1.

Маса SO_2 у витратах розрахована раніше – див. табл. 7.3.

Масу O_2 у витратах розраховують як різницю між масою кисню, що надійшов до контактного відділення і масою кисню, що витратився на окиснення SO_2 . З урахуванням (8.11) цю масу обчислюють за формулою, г

$$m_{\text{O}_2}^{\text{витр.}} = m_{\text{O}_2}^{\text{приб.}} - \frac{M_{\text{O}_2}}{2 \cdot M_{\text{SO}_3}} \cdot m_{\text{SO}_3}. \quad (8.14)$$

Так як з N_2 в даному процесі не відбувається ніяких хімічних перетворень, то маса азоту у витратній частині матеріального балансу буде дорівнювати його масі в прибутковій частині.

Після складання матеріального балансу розраховують так названу його нев'язку, %:

$$X = \frac{|m_{\text{приб.}} - m_{\text{витр.}}|}{\max(m_{\text{приб.}}, m_{\text{витр.}})} \cdot 100. \quad (8.15)$$

Таблиця 8.4 – Матеріальний баланс контактного відділення окиснення SO₂

ПРИБУТОК		ВИТРАТИ	
Статті прибутку	г	Статті витрат	г
SO ₂		SO ₃	
O ₂		SO ₂	
N ₂		O ₂	
		N ₂	
Всього:		Всього:	
Нев'язка матеріального балансу, %:			

8.3 Складання матеріального балансу лабораторної установки

Для лабораторної установки рівняння матеріального балансу має вигляд:

$$m_{\text{колч.}} + m_{\text{розч.}}^{\text{до досл.}} + m_{\text{пов.}} = m_{\text{розч.}}^{\text{після досл.}} + m_{\text{SO}_2}^{\text{витр.}} + m_{\text{O}_2}^{\text{витр.}} + m_{\text{N}_2}^{\text{витр.}} + m_{\text{недог.}} + m_{\text{SO}_2, \text{SO}_3}^{\text{втрати}}, \quad (8.17)$$

де $m_{\text{колч.}}$ – маса колчедану; $m_{\text{розч.}}^{\text{до досл.}}$ і $m_{\text{розч.}}^{\text{після досл.}}$ – маси розчинів сульфатної кислоти до та після дослідів, відповідно; $m_{\text{пов.}}$ – маса повітря, що подавалося в установку; $m_{\text{SO}_2}^{\text{витр.}}$, $m_{\text{O}_2}^{\text{витр.}}$, $m_{\text{N}_2}^{\text{витр.}}$ – маси SO₂, O₂ та N₂ у витратній частині МБ, відповідно; $m_{\text{недог.}}$ – маса недогарка; $m_{\text{SO}_2, \text{SO}_3}^{\text{втрати}}$ – маса втрат з невловленими SO₂ і SO₃.

При складанні матеріального балансу лабораторної установки використовуються дані з табл. 7.1, 7.2 і 8.1–8.4.

Матеріальний баланс оформляється в табличній формі (табл. 8.5).

8.3.1 Складання прибуткової частини матеріального балансу

Маса FeS₂ в сірчаному колчедані розрахована раніше за формулою (8.3).

Масу домішок в сірчаному колчедані розраховують за формулою, г:

$$m_{\text{дом.}} = m_{\text{колч.}} - m_{\text{FeS}_2}. \quad (8.18)$$

Склад розчину сульфатної кислоти для поглинання SO₃ до дослідів визначають за даними табл. 7.2 і 8.1.

Масу H₂SO₄ в розчині кислоти розраховують за формулою, г:

$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{до досл.}} = \frac{\omega_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{до досл.}}}{100} \cdot m_{\text{розч.}}^{\text{до досл.}}, \quad (8.19)$$

де $\omega_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{до досл.}}$ – концентрація сульфатної кислоти до дослідів, %; $m_{\text{розч.}}^{\text{до досл.}}$ – маса розчину кислоти до дослідів, г.

Масу H_2O в розчині сульфатної кислоти до досліду розраховують за формулою, г:

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{розч.}} = m_{\text{розч.}}^{\text{до досл.}} - m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{до досл.}} \quad (8.20)$$

Масу O_2 в повітрі, що подається в процес, розраховують за формулою, аналогічною (8.10) без віднімання маси кисню, що витрачається на спалювання наважки колчедану, г:

$$m_{\text{O}_2}^{\text{пов.}} = k_{\text{O}_2} \cdot \left(m_{\text{O}_2}^{\text{колч.}} + \frac{M_{\text{O}_2}}{2 \cdot M_{\text{SO}_3}} \cdot m_{\text{SO}_3} \right) \quad (8.21)$$

Маса N_2 у складі повітря розрахована раніше – див. табл. 8.4.

8.3.2 Складання витратної частини матеріального балансу

Склад сульфатної кислоти після досліду розраховують за формулами, аналогічними (8.20) і (8.21), з використанням відповідних даних табл. 8.1 і 8.3.

Маси SO_2 , O_2 , N_2 у витратах розраховані раніше (див. табл. 8.4).

Маса недогарка розрахована раніше (див. табл. 8.2).

Масу втрат з невловленими SO_2 і SO_3 розраховують як різницю між загальною масою прибуткової частини балансу і сумою мас всіх вище розрахованих статей витратної його частини.

Таблиця 8.5 – Матеріальний баланс лабораторної установки виробництва H_2SO_4 контактним методом

ПРИБУТОК		ВИТРАТИ	
Статті прибутку	г	Статті витрат	г
Сірчаний колчедан:		Розчин сірчаної кислоти:	
FeS_2		H_2SO_4	
Домішки		H_2O	
Разом:		Разом:	
Розчин сірчаної кислоти:		SO_2	
H_2SO_4		O_2	
H_2O		N_2	
Разом:		Недогарок	
Повітря:		Втрати з невловленими SO_2 і SO_3	
O_2			
N_2			
Разом:			
Всього:		Всього:	

9 ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ ДО ЗАХИСТУ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Яке місце займає сульфатна кислота за об'ємом виробництва порівняно з соляною та азотною кислотами?
2. Вкажіть основні стадії виробництва сульфатної кислоти контактним методом.
3. Яку сировину використовують у виробництві сульфатної кислоти?
4. Запишіть реакцію випалу колчедану.
5. Як інтенсифікувати процес випалу колчедану?
6. Назвіть типи реакторів для випалу колчедану у виробництві H_2SO_4 .
7. Вкажіть склад випального (пічного) газу, що утворюється при випалі колчедану.
8. Чому домішки миш'яку і селену в колчедані вкрай небажані у виробництві сульфатної кислоти?
9. Оптимальне значення температури випалу колчедану є 800°C . Поясніть причини вибору такої температури процесу.
10. Запишіть реакцію окиснення двооксиду сірки.
11. Поясніть чому процес окиснення двооксиду сірки на поверхні ванадієвого каталізатору проводять в поличних контактних апаратах, які являють собою каскад адіабатичних реакторів з проміжним відводом тепла із зони реакції.
12. Запишіть хімічну реакцію, що протікає при абсорбції триоксиду сірки розчином сульфатної кислоти.
13. Чому не вигідно проводити абсорбцію триоксиду сірки розбавленими розчинами сульфатної кислоти?
14. Чому не вигідно проводити абсорбцію триоксиду сірки 100%-ною сульфатною кислотою або олеумом?
15. Які розчини сульфатної кислоти називають олеумом?
16. Якому типу реакторів випалювання сірчаного колчедану в наш час віддається перевага?
17. Яким основним недоліком характеризуються печі "киплячого шару"?
18. З якою метою пічний газ після випалу сірчаного колчедану і очистки від пилу промивають розчинами сірчаної кислоти?
19. З якою метою на сучасних виробництвах сульфатної кислоти контактним способом використовуються процес ПКПА – подвійного контактування і подвійної абсорбції?
20. Які переваги мають електрофільтри порівняно з циклонами і волокнистими фільтрами?
21. Вкажіть тип ХТП випалу колчедану за характером хімічного перетворення та за фазовим станом реагентів.
22. Вкажіть тип ХТП окиснення SO_2 до SO_3 за характером хімічного перетворення та за фазовим станом реагентів.
23. Вкажіть тип ХТП абсорбції SO_3 розчином сульфатної кислоти за характером хімічного перетворення та за фазовим станом реагентів.

24. Як впливає зміна температури на рівноважний ступінь перетворення сировини?
25. Як впливає зміна тиску на рівноважний ступінь перетворення сировини?
26. Як впливає зміна концентрації продукту реакції на рівноважний ступінь перетворення сировини?
27. Чим може лімітуватись загальна швидкість гетерогенного ХТП випалу колчедану?
28. В чому полягає принцип складання матеріального балансу процесу хімічного перетворення?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Амелин А.Г. Технология серной кислоты / А.Г. Амелин. – М.: Химия, 1983. – 360 с.
2. Кутепов А.М. Общая химическая технология / А.М. Кутепов, Т.И. Бондарева, М.Г. Беренгартен. – М.: Академкнига, 2004. – 528 с.
3. Бесков В.С. Общая химическая технология / В.С. Бесков. – М.: Академкнига, 2005. – 452 с.
4. Яворський В.Т. Загальна хімічна технологія / В.Т. Яворський. – Львів: Вид-во НУ “Львівська політехніка”, 2005. – 552 с.

ЗМІСТ

Вступ	3
1 Теоретичні основи виробництва сульфатної кислоти	3
1.1 Стадії виробництва сульфатної кислоти	3
1.2 Отримання двоокису сірки	3
1.3 Окиснення двоокису сірки на каталізаторі	4
1.4 Абсорбція триоксиду сірки	5
2 Стисла характеристика промислової технологічної схеми	5
3 Мета роботи	8
4 Опис лабораторної установки	8
5 Питання техніки безпеки	10
6 Порядок виконання роботи	10
6.1 Попередні зауваження	10
6.2 Виконання роботи	10
7 Методики аналізів і визначень	11
7.1 Визначення орієнтовної кількості 1 М розчину лугу для абсорбції SO ₂ , що не окиснився на каталізаторі	11
7.2 Визначення початкової концентрації сульфатної кислоти	12
7.3 Визначення кількості SO ₂ , що не окиснився до SO ₃	13
8 Обробка результатів експерименту	14
8.1 Визначення кількісних критеріїв процесу отримання сульфатної кислоти	14
8.2 Складання матеріального балансу контактного відділення	16
8.2.1 Складання прибуткової частини матеріального балансу	16
8.2.2 Складання витратної частини матеріального балансу	17
8.3 Складання матеріального балансу лабораторної установки	18
8.3.1 Складання прибуткової частини матеріального балансу	18
8.3.2 Складання витратної частини матеріального балансу	19
9 Перелік питань до захисту лабораторної роботи	20
Список літератури	21