

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут”

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

З КУРСУ

«ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ »

Київ
НТУУ “КПІ”
2012

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут”

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З КУРСУ**

«Технологія очищення води»

для студентів напряму підготовки 6.051301
“Хімічна технологія”

Рекомендовано Вченою радою
інженерно-хімічного факультету НТУУ «КПІ»
протокол № 9 від 26 жовтня 2012 р.

Київ
НТУУ “КПІ”

2012

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Технологія очищення води» для студентів напряму підготовки 6.051301 «Хімічна технологія»/ Укл. Іваненко О.І., Шаблій Т. О., Носачова Ю.В. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 75 с. – Укр. мовою.

Укладачі: Іваненко О.І.
Шаблій Т.О.
Носачова Ю.В.

Рецензент: Сідоров Д.Е., к.т.н., доц.

Відповідальний редактор: Гомеля М.Д., д.т.н., проф.

ПЕРЕДМОВА

Курс “Технологія очищення води” відноситься до блоку дисциплін за вибором ВНЗ для студентів спеціальності “Хімічна технологія”. Лабораторні роботи є обов’язковою і важливою складовою частиною учбового процесу при вивченні студентами даного курсу, де студенти знайомляться із процесами водоочищення та водопідготовки.

Головною метою лабораторних занять є закріплення та поглиблення знань, отриманих під час аудиторних занять в процесі вивчення теоретичних основ дисципліни, набуття навиків контролю основних процесів водоочищення та оцінки їх ефективності, моделювання складних технологічних процесів водопідготовки.

Основні завдання лабораторних занять - допомогти студентам оволодіти не тільки сучасними методами контролю якості природних вод, але й чітко зрозуміти вплив різноманітних технологічних факторів, характеристик води на ефективність процесів водопідготовки, кондиціонування води, їх економічні показники.

Перед початком роботи студенти повинні обов’язково пройти загальний інструктаж по техніці безпеки.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

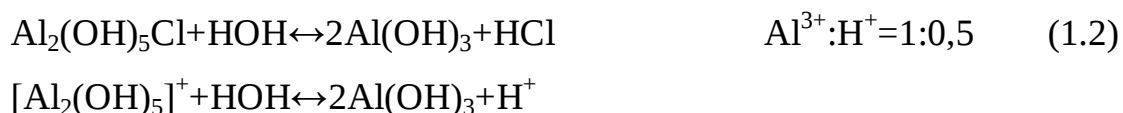
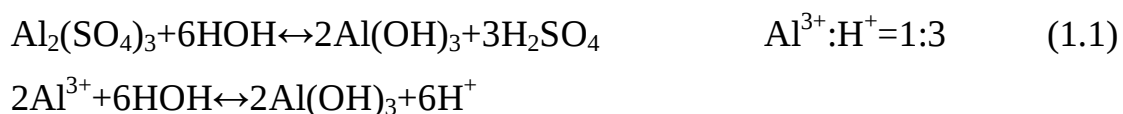
ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСУ КОАГУЛЯЦІЇ

Мета роботи: вивчення впливу коагулянтів, рН середовища та температури на ефективність освітлення води при відстоюванні.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Коагуляція використовується для очищення природних та промислових стічних вод в основному від забруднюючих речовин, які знаходяться в колоїдному завислому стані. Суть її заключається в тому, що у воду додають речовини – коагулянти. Частіше всього – це солі алюмінію і заліза, а також їх суміші, але можуть використовуватися і солі інших багатозарядних катіонів – магнію, титану. Коагулянти – це солі сильних кислот та слабких основ. Вони гідролізуються з утворенням зольних гідроокисів, які мають розвинену поверхню і які сорбують на ній різні домішки. При цьому часточки збільшуються (коагулюють) і осаджуються разом з колоїдними і завислими речовинами.

Гідроліз сульфату алюмінію, гідроксохлориду алюмінію і хлориду заліза можна представити у вигляді сумарних реакцій:



В рівнянні (1.2) приведено реакцію гідролізу високолужного гідроксохлориду алюмінію, який в якості коагулянту має ряд переваг перед сульфатом алюмінію. Однією з них є те, що він має високу коагуляційну здатність в більш широкому інтервалі рН, так як при одній дозі коагулянту видаляється менша кількість протонів. Гідроксохлорид алюмінію забезпечує утворення великих пластівців, які швидко осаджуються. Завдяки існуванню у своїй структурі хлорид-іонів, гідроксохлорид алюмінію при гідролізі утворює стійкі коагуляційні структури, які не руйнуються при перемішуванні. Крім того, хлориди знижують водоутримуючу здатність часток золю гідроокису, що сприяє коагуляції. Витрата гідроксохлориду алюмінію на 25...30 % нижче при однаковому ефекті очищення в порівнянні з сульфатом алюмінію. Слід зазначити, що використання сульфату алюмінію при високій жорсткості води призводить до відкладення сульфатів кальцію та магнію. Сульфат-іони зв'язуються з катіонами алюмінію в стійкі комплекси, при цьому відбувається велика витрата коагулянту.

У зв'язку з переліченим вище ясно, що гідроксохлорид алюмінію більш перспективний реагент для очищення води, ніж традиційний коагулянт – сульфат алюмінію.

Порівнюючи сульфат алюмінію й хлорид заліза як коагулянти, слід зазначити, що при низьких температурах перший практично не коагулює, тоді як коагулююча здатність хлориду заліза практично не залежить від температури води. Недоліком хлориду заліза є здатність катіонів заліза утворювати кольорові комплекси з деякими органічними лігандами, які присутні у воді. При цьому колірність води збільшується. Використання змішаних коагулянтів дозволяє позбутися недоліків, які мають окремі сполуки, і набути ряд цінних якостей. Оптимальне співвідношення $\text{FeCl}_3 : \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 = 1 : 1$.

Рідше використовуються солі заліза (II). Недоліком є те, що спільно з ними необхідно вводити у воду окислювачі, частіше всього хлор, який переводить залізо (II) в залізо (III).

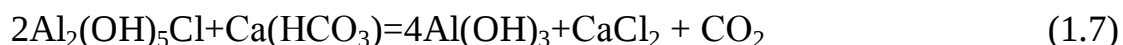
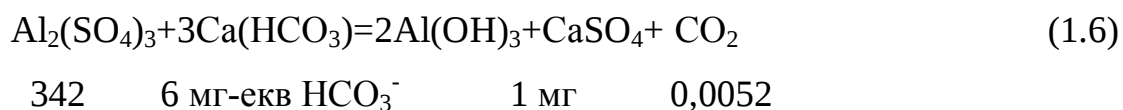
Процес коагуляції та очищення води залежить від слідуючих факторів: природи та дози коагулянту, складу та рН води, температури, іонного складу води.

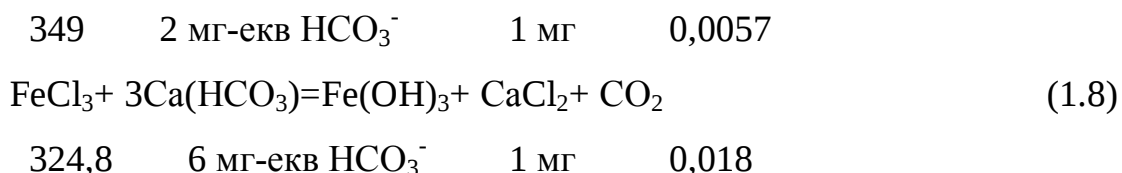
При оптимальній дозі коагулянту досягається максимальне видалення з води забруднюючих речовин і практично повна відсутність залишкової кількості алюмінію і заліза у воді. Існує кілька визначень оптимальної дози коагулянту. За ГОСТ 2874-54 оптимальною дозою D_0 називається мінімальна доза, яка забезпечує прозорість очищеної води 30 см “за шрифтом”.

Як видно з рівнянь (1.1) – (1.3), в процесі гідролізу утворюються іони водню H^+ (іони гідроксонію H_3O^+ або протони) і середовище підкислюється. Для того, щоб забезпечити повний гідроліз коагулянту, необхідно зрушити рівновагу праворуч речовинами, які мають лужний характер $NaOH$, Na_2CO_3 , $Ca(OH)_2$ або іонами CO_3^{2-} та HCO_3^- , які в природних водах виконують роль буферної системи, що дає можливість підтримувати у воді певний інтервал рН. При цьому протони зв’язуються в малодисоційовану воду або малостійкі сполуки вугільної кислоти.



Представимо гідроліз лужних коагулянтів в природній воді слідуючими рівняннями:





Таким чином, при гідролізі 1 мг сульфату алюмінію, гідроксохлориду алюмінію, хлориду заліза на зв'язування H^+ витрачається 0,0052; 0,0057; 0,018 мг-екв іонів HCO_3^- або мг-екв лужності. Тому для практичних цілей при очищенні природних вод лужність води визначається за формулами:

$$\text{Сульфат алюмінію: } L = 0,0052 \cdot D + 1 \quad (1.9)$$

$$\text{Гідроксохлорид алюмінію: } L = 0,0057 \cdot D + 1 \quad (1.10)$$

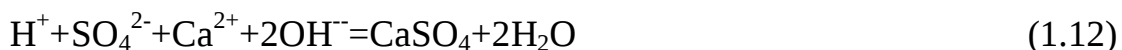
$$\text{Хлорид заліза: } L = 0,018 \cdot D + 1 \quad (1.11),$$

D – доза коагулянту, мг/дм³;

L – лужність води, мг-екв/ дм³;

1 – резервна лужність, мг-екв/ дм³.

При недостатній лужності природної води та її високій каламутності неможливо підібрати оптимальну дозу коагулянту. Тому, щоб підвищити лужність води, проводять її підлужування. Можна використовувати різні лужні реагенти, але частіше всього це суспензія вапна завдяки його широкій розповсюдженості та низької вартості. При використанні сульфату алюмінію вапно зручно ще й тим, що іони кальцію утворюють малорозчинний сульфат. В даному випадку солевміст та жорсткість води не збільшуються:



При коагуляційному очищенні води сполуки алюмінію (солі, гідроксохлорид, алюмінат) слід особливу увагу приділяти рН середовища, так як $\text{Al}(\text{OH})_3$ має амфотерний характер, і в кислому середовищі розчиняється з видаленням Al^{3+} , у лужному середовищі – алюмінат-аніону. І в тому, і в іншому випадку відбувається неповний гідроліз коагулянту і залишається високий вміст алюмінію в очищеній воді.

Ізоелектрична точка коагуляції хімічно чистого $\text{Al}(\text{OH})_3$ в дистильованій воді відповідає $\text{pH} \approx 5,5$ (при цьому розчинність мінімальна і складає $\approx 0,3 \text{ мг/дм}^3$). pH ізоелектричної точки підвищується в природній воді і значно більше залежить від аніонного складу, ніж від катіонного. Так, в природних водах коагуляція колоїду $\text{Al}(\text{OH})_3$, який утворюється в результаті гідролізу $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, відбувається досить добре при $\text{pH} 5,7 \dots 7,8$; в м'яких водах при $\text{pH} 5,7 \dots 6,6$; у водах середньої жорсткості ($12 \dots 17^\circ\text{C}$) – при $\text{pH} 6,6 \dots 7,2$; у водах з високою жорсткістю – при $\text{pH} 7,3 \dots 7,8$. Тому перед проведенням коагуляції необхідно знати склад води для кореляції лужності.

Процес гідролізу багатозарядних катіонів алюмінію та заліза є зворотною реакцією, для якої застосовується емпіричне правило Вант-Гоффа: підвищення температури на кожні 10°C збільшує її швидкість приблизно в $2 \dots 4$ рази:

$$V_t = V_0 \cdot \gamma^{\Delta t / 10} \quad (1.13),$$

γ – температурний коефіцієнт швидкості реакції.

При підвищенні температури знижується ступінь гідратації золю $\text{Al}(\text{OH})_3$, його стійкість та розчинність, що збільшує швидкість утворення та осадження пластівців, покращує якість очищення.

Зниження температури призводить до уповільнення коагуляції внаслідок зниження кінетичної рухливості часток і числа активних зіткнень, а також збільшення в'язкості води. Остання пов'язана з pH рівнянням:

$$- \text{pH} = 0,5 \cdot \lg K_v - \lg \Gamma_v \quad (1.14),$$

K_v – іонний добуток води, $1 \cdot 10^{-14}$;

Γ_v – густина води.

Тому при низьких температурах підвищується в'язкість і збільшується витрата лужного реагенту у зв'язку з ростом оптимального pH коагуляції. Так, зниження температури від 50 до 0°C підвищує pH від

6,63 до 7,47. Оптимальною температурою для коагуляції при використанні сульфату алюмінію є 25...30 °С; зниження температури збільшує дозу коагулянту.

Іноді для визначення оптимальної дози коагулянту використовують емпіричну формулу, в якій враховуються кілька параметрів води: колірність (К), лужність (Л), температура (Т) та залишковий вміст хлору після хлорування:

$$D_K = 0,9 \cdot K + 13,6 \cdot L + 0,4 \cdot T + 0,9[Cl^-] + 4 \quad (1.15)$$

ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ, МАТЕРІАЛИ, РЕАКТИВИ

Обладнання

1. Мірні циліндри ємністю 250 см³.
2. Колби конічні ємністю 250 см³.
3. Піпетки ємністю 1, 2, 3, 10 см³.
4. Мірні колби ємністю 50, 100, 200 см³.

Прилади

1. рН-метр.
2. Термостат.
3. Секундомір.
4. Фотоелектроколориметр.

Реактиви

1. Модельна природна вода.
2. Розчин сульфату алюмінію, 25 г/дм³.
3. Розчин гідроксохлориду алюмінію, 25 г/дм³.
4. Розчин хлориду заліза, 25 г/дм³.
5. Стандартний розчин алюмінію, 0,1 г/дм³ по Al³⁺ (1,758 г KAl(SO₄)₂·12H₂O розчинити в 1 дм³ дистильованої води).

6. Стандартний розчин заліза, $0,1 \text{ г/дм}^3$ по Fe^{3+} ($0,8636 \text{ г NH}_4\text{Fe(SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ розчинити в 1 дм^3 дистильованої води).
7. Розчин соляної кислоти, $0,05\text{N}$;
8. Розчини індикаторів: фенолфталеїну, метилового оранжевого;
9. Розчин лугу $0,1 \text{ N}$.
10. Розчин сульфату амонію, $50 \text{ \%}$ -ий.
11. Розчин індикатора алюмініона.
12. Ацетатний буфер.
13. Розчин аміаку, $10 \text{ \%}$ -ий.
14. Розчин сульфосаліцилової кислоти, $10 \text{ \%}$ -ий.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ ТА ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Визначення оптимальної дози коагулянту

У 5 циліндрів наливають по 250 см^3 води з відомою каламутністю. Потім у циліндри додають мірною піпеткою коагулянт (розчин сульфату алюмінію, гідроксохлориду алюмінію, хлориду заліза) в дозах $0, 10, 25, 50, 100 \text{ мг/дм}^3$), перемішують воду, тричі перекедаючи закриті циліндри. Замічають час введення коагулянту у воду. Відстоюючи воду в циліндрах фіксують час початку утворення пластівців, початок та закінчення осадження, а також вид пластівців (рихлі, великі, дрібні). Через кожні 30 хвилин відбирають проби на аналіз. Визначають каламутність. Через 2 години з кожного циліндру відбирають з допомогою водоструйного насосу 150 см^3 освітленої води для аналізу, визначають залишкову каламутність, залишковий вміст алюмінію або заліза.

Експериментальні дані заносять в табл. 1.1.

На основі отриманих даних будують графіки: залишкова каламутність як функція від дози коагулянту $K=f(D)$; зміна каламутності

від часу $K=f(\tau)$ в залежності від дози коагулянту. Визначають оптимальну дозу коагулянту.

Вплив вихідного значення рН води на процес коагуляції

У вихідній воді визначають каламутність та лужність. Розраховують дозу вапна, виходячи із співвідношень 1,9...1,11. Доза коагулянту – оптимальна, яка була визначена в попередній роботі.

В 4 циліндри наливають по 250 см³ води. Розчином гідроокису кальцію доводять рН води 8,0; 8,5; 9,0; 9,5, перемішують, тричі перекидаючи циліндри, додають коагулянт і знову перемішують. Відмічають час введення коагулянту у воду. Відстоюючи воду в циліндрах, фіксують час початку утворення пластівців, початок та закінчення осадження, а також вид пластівців (рихлі, великі, дрібні). Через кожні 30 хвилин відбирають проби на аналіз. Визначають каламутність.

Через 2 години з кожного циліндру відбирають з допомогою водоструйного насоса 150 см³ освітленої води для аналізу, визначають залишкову каламутність, залишковий вміст алюмінію або заліза. Експериментальні дані заносять в табл. 1.2.

На основі отриманих даних будують графіки: залишкова каламутність як функція від рН середовища $K=f(\text{pH})$; зміна каламутності від часу $K=f(\tau)$ в залежності від рН середовища при оптимальній дозі коагулянту. Визначають оптимальне рН середовища.

Таблиця 1.1 – Вплив дози коагулянту на прояснення води

Показник	Номер циліндру				
Вид коагулянту					
Доза коагулянту, мг/дм ³					
Кількість коагулянту, см ³					

Реакція середовища, рН					
Час початку утворення пластівців, хв					
Час початку осадження пластівців, хв					
Час повного осадження пластівців, хв					
Каламутність води через 30, 60, 90, 120 хв, мг/дм ³					
Залишкова каламутність води, мг/дм ³					
Залишковий вміст алюмінію або заліза, мг/дм ³					

Таблиця 1.2 – Вплив рН на ефективність прояснення води

Показник	Номер циліндру			
	1	2	3	
Вид коагулянту				
рН вихідної води				
Лужність вихідної води, мг-екв/дм ³				
Доза коагулянту, мг/ дм ³				
Кількість коагулянту, см ³				
Кількість лужного реагенту, см ³				
Час початку утворення пластівців, хв				
Час початку осадження пластівців, хв				
Час повного осадження пластівців, хв				
Каламутність проясненої води через 30, 60, 90, 120 хв, мг/дм ³				
рН очищеної води				
Каламутність очищеної води, мг/дм ³				
Залишковий вміст алюмінію або заліза, мг/ дм ³				
Лужність очищеної води, мг-екв/ дм ³				

Залежність коагуляційного очищення води від температури

У вихідній воді визначають каламутність. В 4 циліндри наливають по 250 см³ води. Додають розчин лужного реагенту, який забезпечує максимальне освітлення води, перемішують. В кожний з циліндрів додають коагулянт в оптимальній дозі і перемішують. Три циліндри розміщують в термостаті при температурі 30, 50, 70 °С, один залишають при кімнатній температурі. Проби витримують при даній температурі 30 хвилин.

Після закінчення вказаного часу з термостату циліндри виймаються по одному і через кожні 30 хвилин відбирають проби на аналіз. Визначають каламутність.

Через 2 години з кожного циліндру відбирають з допомогою водоструйного насосу 150 см³ освітленої води для аналізу, визначають залишкову каламутність, лужність, залишковий вміст алюмінію або заліза. Експериментальні дані заносять в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Вплив температури на прояснення води

Показник	Номер циліндру			
Вид коагулянту				
Доза коагулянту, мг/дм ³				
Кількість коагулянту, см ³				
Кількість лужного реагента, см ³				
Температура води, °С				
Вихідна каламутність води, мг/дм ³				
Час початку утворення пластівців, хв				
Час початку осадження пластівців, хв				
Час повного осадження пластівців, хв				
Каламутність води через 30, 60, 90, 120 хв				
Залишкова каламутність води, мг/дм ³				
Залишковий вміст алюмінію або заліза, мг/дм ³				
рН освітленої води				

На основі отриманих даних будують графіки: залишкова каламутність як функція від температури $K=f(T)$; зміна каламутності від часу $K=f(\tau)$ в залежності від температури при оптимальній дозі коагулянту та при оптимальному рН. Визначають оптимальну температуру.

СПОСТЕРЕЖЕННЯ, МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ОЧИЩЕННЯ

Визначення каламутності води фотометричним методом

У кювету переносять достатню кількість перемішаної проби і вимірюють оптичну густину, використовуючи червоний світлофільтр. Каламутність досліджуваної проби оцінюють за калібрувальним графіком.

Визначення залишкового алюмінію

Метод заснований на здатності іону алюмінію утворювати з алюміноном лак помаранчово-червоного кольору, який являє собою комплексну сполуку. Реакція здійснюється в слабнокислому середовищі при рН 4,5...4,65 в присутності сульфату амонію в якості стабілізатора забарвлення. Утворений розчин фотометрують при довжині хвилі 525...540 нм.

Приготування реакційної суміші. Змішують в співвідношенні 1:2:22 об'ємні частки розчинів сульфату амонію, алюмінона и розведеного ацетатного буфера.

Проведення аналізу.

В колбу місткістю 50 см³ заливають 25 см³ проби. Приливають 25 см³ реакційної суміші, розчин перемішують і через 30 хв вимірюють оптичну густину розчину (при 540 нм в кюветі на 30 мм) відносно холостої проби. По градуовальному графіку знаходять концентрацію іонів алюмінію в розчині.

Визначення залишкового заліза

10 см³ розчину, в якому концентрація заліза знаходиться в межах 0,1...1,0 мг/дм³, переносять в колбу на 100 см³ і додають 5 см³ 10 %-го розчину сульфосаліцилової кислоти. Інтенсивно перемішують, додають 5 см³ розчину аміаку (концентрація – 10 %) і добре перемішують. Фотометрують в кюветі на 20 мм при довжині хвилі 410 нм. Для порівняння використовують воду, яка пройшла всі стадії аналізу (відносно

холостої проби). По градувальному графіку знаходять концентрацію іонів заліза в розчині.

Визначення загальної лужності

Загальна лужність води обумовлена присутністю іонів OH^- , CO_3^{2-} та HCO_3^- . Іони OH^- та CO_3^{2-} титруються соляною кислотою в присутності індикатору фенолфталеїну до рН 8,3. При цьому відбуваються наступні процеси:



Іони HCO_3^- титруються соляною кислотою в присутності індикатора метилового оранжевого до рН 3,6:



Так як в реакції нейтралізації іонів водню, які видаляються при гідролізі, приймають участь іони OH^- , CO_3^{2-} та HCO_3^- , то в роботі визначається загальна лужність по метилоранжу.

До 50 см³ води додають 2...3 краплі розчину фенолфталеїну і титрують 0,05Н розчином соляної кислоти до знебарвлення. Потім додають 2...3 краплі розчину метилоранжу і титрують 0,05Н розчином соляної кислоти до переходу кольору від жовтого до рожевого. Загальну лужність води визначають за формулою:

$$L_{\text{заг}} = (N \cdot V_1 \cdot 1000) / V_2, \text{ мг-екв/дм}^3 \quad (1.19)$$

V_1 – об'єм 0,05Н розчину соляної кислоти, який пішов на титрування, см³;

V_2 – об'єм проби, см³;

N – нормальність розчину соляної кислоти.

ВИСНОВКИ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ ТА ХАРАКТЕРИСТИЧНОЇ В'ЯЗКОСТІ ФЛОКУЛЯНТУ

Мета роботи: визначення в'язкості розчинів флокулянтів за допомогою капілярного віскозиметру.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

В'ЯЗКІСТЬ – властивість газів і рідин чинити опір незворотньому переміщенню однієї їхньої частини щодо іншої при зрушенні, розтяганні та інших видах деформації. В'язкість характеризують інтенсивністю роботи, що витрачається на здійснення течії у рідині з певною швидкістю. При ламінарному зсувному плинні рідини між двома площиннопаралельними пластинками, верхня з яких рухається з постійною швидкістю v під дією сили F , а нижня – нерухома, шари рідини переміщуються з різними швидкостями – від максимальної у верхній пластинці до нуля у нижній (рис. 2.1).

При цьому дотичне напруження:

$$\tau = F/S \quad (2.1)$$

швидкість деформації:

$$\dot{\gamma} = v/H \quad (2.2)$$

S – площа пластинок, m^2 , H – відстань між ними, m .

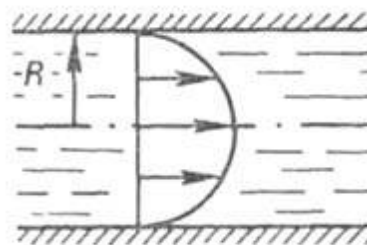
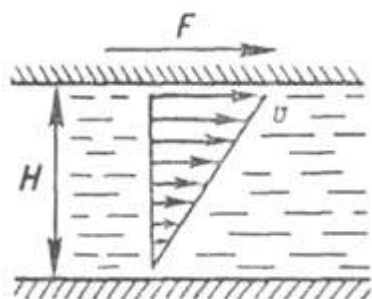
Якщо між τ і $\dot{\gamma}$ є лінійна залежність, рідина називається ньютонівською; відношення $\tau/\dot{\gamma}$ називається **динамічною в'язкістю** (або просто в'язкістю) η . Величину, що відповідає відношенню в'язкості речовини до його густини, називають **кінематичною в'язкістю**, зворотню в'язкості величину – називають **текучістю**.

У загальному випадку просторової течії для ньютонівських рідин має місце лінійна залежність між тензорами напруг і швидкостей деформації.

Рідини, для яких зазначені залежності не є лінійними, називаються неньютонівськими.

У системі СІ значення в'язкості η виражають у Па·с. Для газів η становить зазвичай від 1 до 100 мкПа·с, для води при 20°C 1 мПа·с, для більшості низькомолекулярних рідин до 10 Па·с. Розплавлені метали за порядком величини η близькі до звичайних рідин.

В'язкість низькомолекулярних рідин, які відносяться до одного гомологічного ряду, приблизно лінійно росте зі збільшенням молекулярної маси речовини. Вона збільшується також із введенням у молекулу циклів або полярних груп. В'язкість розведених суспензій і емульсій лінійно зростає зі збільшенням відносного об'єму дисперсної фази. В'язкість розчинів і розплавів полімерів досягає 0,1 МПа·с, каучуків і гумових сумішей, бітумів і асфальтів - 100 МПа·с. На відміну від низькомолекулярних гомологів, в'язкість полімерів росте пропорційно їх молекулярній масі не лінійно, а в ступені 3,5, тобто набагато сильніше.



а)

б)

Рисунок 2.1 – Розподіл швидкостей при ламінарному зсуві течії ньютонівської рідини між пластинами (а), розподіл швидкостей при ламінарній течії рідини у каналі (б).

В'язкість рідин з підвищенням температури зменшується завдяки зниженню енергії міжмолекулярної взаємодії, що перешкоджає переміщенню молекул. В уявленнях теорії вільного об'єму встановлено

кількісну відповідність між збільшенням вільного об'єму рідин і її в'язкості з ростом температури.

Зі збільшенням тиску в'язкість завжди зростає. При ламінарній течії ньютонівської рідини у каналі профіль швидкостей виявляється параболічним (рис. 2.1 б), і в'язкість виражається через перепад тиску ΔP , необхідний для створення певної об'ємної витрати Q :

$$h = \frac{p \cdot R^4 \cdot \Delta P}{8 \cdot Z \cdot Q} \quad (2.3)$$

R – радіус, м, Z - довжина каналу, м (формула Гагена-Пуазейля).

Для багатьох розплавів, розчинів полімерів і колоїдних систем, на відміну від низькомолекулярних рідин, в'язкість залежить від режиму течії (тобто від $\dot{\gamma}$ або τ). Тому для характеристики таких середовищ необхідно вказувати умови виміру в'язкості (значення $\dot{\gamma}$ або τ). Розрізняють:

1. Найбільшу ньютонівську в'язкість (або в'язкість незруйнованої структури), що відповідає гранично низьким τ ;
2. Ефективну (або "структурну") в'язкість, що залежить від рівня діючих у середовищі напруг;
3. Найменшу ньютонівську в'язкість (або в'язкість гранично зруйнованої структури), що вимірюється при найбільш інтенсивному режимі деформування, коли в'язкість перестає залежати від τ .

Значенням в'язкості характеризують перехід рідин, що не кристалізуються (переохолоджених), з текучого в склоподібний стан при охолодженні. Температуру, при якій в'язкість досягає 10^{11} - 10^{12} Па·с, умовно приймають за температуру скловання. Властивості розведених розчинів полімерів оцінюють, так званою, характеристичною в'язкістю ("граничним числом в'язкості"), що визначається як:

$$[\eta] = \lim_{C \rightarrow 0} \frac{h - h_s}{h_s \cdot C} \quad (2.4)$$

η_s – в'язкість розчинника, Па·с; η – в'язкість розчину, Па·с; C - концентрація розчину, кг/м³.

Величина η пов'язана з розмірами та формою макромолекул у розчині й використовується для визначення їх середньої молекулярної маси.

Внаслідок високої чутливості в'язкості рідин до молекулярної маси та будови молекул, її вимір є основою фізико-хімічних методів аналізу і контролю технологічних процесів. Значення в'язкості середовища обумовлюють потужність мішалок, насосів і т.п., що впливають на швидкість тепло- і масопереносу. Температурна залежність в'язкості - найважливіша характеристика нафтопродуктів, особливо мастильних матеріалів.

ВІСКОЗИМЕТРІЯ (від лат. *viscosus* - клейкий, грузлий і греч. *metred* - вимірюю) - сукупність методів вимірювання в'язкості рідин і газів. Віскозиметрія ґрунтується на двох експериментальних принципах:

- вимірюється опір руху, обумовлений в'язкістю середовища при протіканні досліджуваної речовини в каналі тієї або іншої геометричної форми,
- вимірюється опір руху, при пересуванні твердого тіла у середовищі, в'язкість якого визначають.

Найпоширенішими є капілярна, ротаційна, вібраційна віскозиметрії, метод кульки, що падає, пенетрація та пластометрія.

Прилади для вимірювання в'язкості називають віскозиметрами. Зазвичай використовують капілярні, ротаційні та кулькові віскозиметри. Найпоширеніші капілярні віскозиметри застосовують для визначення в'язкості неструктурованих і слабкоструктурованих рідин. Основним елементом цих віскозиметрів є капіляр. Визначення в'язкості проводять шляхом вимірювання часу t перетікання рідини від мітки а до мітки б. Напруга деформації може задаватися ззовні шляхом приєднання штуцера

до моностату, в якому створюється тиск (або розрідження) P_m . Рідина може пересуватися також під дією гідростатичного тиску:

$$P_T = r \cdot g \cdot h \quad (2.5)$$

r – щільність рідини, кг/м^3 ; g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ; h – середня відстань між рівнями рідини у резервуарах А и В, м (рис. 2.2).

В'язкість розраховують по рівнянню Пуазейля:

$$V = \frac{\pi r^4 P}{8 \eta l} t \quad (2.6)$$

V – об'єм рідини, м^3 , що витікає з капіляра за час t , с; P – тиск, під дією якого рідина тече, Па; r – радіус капіляра, м; l – довжина капіляра, м; η – в'язкість рідини, Па·с.

У капілярному віскозиметрі об'єм рідини у резервуарі завжди постійний, тому рівняння (2.6) приводять до виду:

$$\frac{1}{t} = K \frac{P}{\eta} \quad (2.7)$$

K – постійна віскозиметра, що знаходять при використанні стандартної ньютонівської рідини.

ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ, РЕАКТИВИ ТА МАТЕРІАЛИ

Прилади та обладнання

1. Віскозиметр капілярний.
2. Магнітна мішалка.
3. Термостат.
4. Секундомір.
5. Електрична плитка.
6. Хімічний посуд.

Реактиви та матеріали

1. Флокулянти (поліакриламід).

Схема лабораторної установки

При визначенні в'язкості в широке коліно А U-подібної трубки наливають рідину, якою потім заповнюють вузьку частину В вище мітки 1. Рідині дають вільно витекти, при цьому відмічають по секундоміру час проходження від мітки 1 до мітки 2.

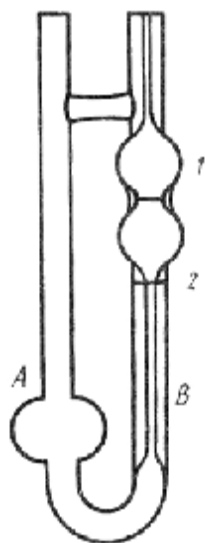


Рисунок 2.2 – Схема
капілярного віскозиметру

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Готують розчини флокулянтів з концентрацією 0,001...0,05 %. Для цього наважку флокулянту масою 0,1 г розчиняють в 100 см³ теплої дистильованої води при перемішуванні протягом 1 години.

Після повного розчинення флокулянту, стакан з розчином розміщують під віскозиметричною піпеткою, так щоб кінець віскозиметричної піпетки був занурений в розчин на 1...1,5 см. Потім, за допомогою груші засмоктують розчин до половини верхньої кульки віскозиметричної піпетки. Заповнену віскозиметричну піпетку витримують в термостаті при температурі 20 °С протягом 5 хв. Після цього вимірюють час перетікання розчину між мітками за допомогою секундоміру. Вимірювання повторюють, використовуючи розчини розведені в 2; 5 та 10 разів.

ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

Таблиця 2.1 - Результати визначення динамічної в'язкості

№ п/п	Марка флокулянту	Конц. флокулянту, С, мг/дм ³	Час витікання, с	Динамічна в'язкість розчину, η , Па·с

В'язкість розраховують по рівнянню Пуазейля:

$$V = \frac{\pi r^4 P}{8 \eta l} t$$

$$\eta = K \cdot P \cdot t$$

V – об'єм рідини, м³, що витікає з капіляра за час t , с; P – тиск, під дією якого рідина тече, Па; r – радіус капіляра, м; l – довжина капіляра, м.

Після визначення динамічної в'язкості будують залежність динамічної в'язкості від концентрації флокулянту ($\eta = f(C)$).

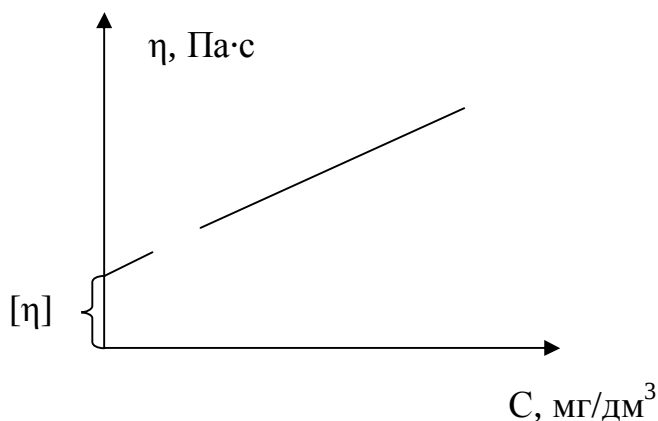


Рисунок 2.3 – Залежність динамічної в'язкості розчину флокулянту від його концентрації (відрізок $[\eta]$ – характеристична в'язкість флокулянту).

Продовженням лінії до точки перетину з координатою η визначають характеристичну в'язкість $[\eta]$.

ВИСНОВКИ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

ВИЗНАЧЕННЯ МОЛЕКУЛЯРНОЇ МАСИ ФЛОКУЛЯНТІВ

Мета роботи: визначення молекулярної маси віскозиметричним методом.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Склад та будова макромолекул залежать не тільки від хімічного складу і будови мономеру, але й від способу синтезу полімерів. При цьому як в ланцюгових, так і в ступінчастих процесах синтезу неможливо уявити собі випадок, коли всі молекули, що утворюються, мали б однакову ступінь полімеризації, тобто однакову молекулярну масу. Полімери зазвичай складаються з молекул різного розміру, тому значення молекулярної маси полімеру, яке визначене за допомогою того чи іншого методу, є середньою величиною.

Розрізняють **середньочислову** та **середньомасову** молекулярну масу. До середньочислових відносять методи, які базуються на визначенні числа молекул в розведених розчинах полімерів:

- зниження температури замерзання розчину (кріоскопія),
- підвищення температури кипіння розчину (ебуліоскопія),
- визначення числа кінцевих груп в макромолекулах,
- вимірювання осмотичного тиску розчину.

Значення середньочислової молекулярної маси M_n , яке отримано при цих вимірюваннях, являє собою сумарну масу всіх молекул в зразку полімеру (W), віднесену до числа молекул (N_i), із середньостатистичною масою (M_i):

$$M_n = \frac{W}{N_i} \quad (3.1)$$

До середньомасових відносять методи визначення молекулярної маси, які ґрунтуються на встановленні маси окремих макромолекул:

- вимірювання швидкості седиментації,
- швидкості дифузії,
- світлорозсіювання в розчинах полімерів.

Для розрахунку середньомасового значення молекулярної маси (M_w) необхідно знати частку даної молекулярної маси в загальній молекулярній масі. Загальна молекулярна маса складає $\sum N_i \cdot M_i$, тобто частка кожної молекулярної маси X_i дорівнює:

$$X_i = \frac{N_i \cdot M_i}{\sum (N_i \cdot M_i)} \quad (3.2)$$

Якщо значення кожної молекулярної маси помножити на його частку і скласти ці добутки, то отримане значення молекулярної маси називається середньомасовим:

$$M_w = \sum (X_i \cdot M_i) \quad (3.3) \text{ або}$$

$$M_w = \frac{\sum (N_i \cdot M_i)^2}{\sum (N_i \cdot M_i)} \quad (3.4),$$

N_i – кількість молекул з молекулярною масою M_i .

Близька до середньомасового значення середньов'язкісна молекулярна маса, яка визначається вимірюванням в'язкості розведених розчинів.

У випадку, якщо полімер складається з одної фракції з дуже близькими один до одного розмірами молекул ($M_n = M_w$), даний полімер називається монодисперсним. В усіх інших випадках ($M_n > M_w$ і $M_n/M_w > 1$) є мірою полідисперсності полімеру. Зазвичай на кривій молекулярно-масового розподілу полімеру значення M_n приходить на максимум, тобто на фракцію, частка якої в складі полімеру найбільша, а значення M_w зміщене вправо по осі абсцис.

В будь-якому зразку полімеру присутні разом макромолекули різних розмірів, тобто будь-який полімер неоднорідний за молекулярною масою. Полімолекулярність або полідисперсність полімерів закладена вже в самому характері процесів синтезу.

Також полімер може бути охарактеризований типом розподілу по молекулярним масам, тобто по молекулярно-масовому розподілу (ММР). ММР полімеру впливає на його фізико-механічні властивості. Підвищений вміст високомолекулярних фракцій в полімері надає йому більше міцності, підвищену твердість та температуростійкість.

Віскозиметричний метод – найбільш простий і доступний метод визначення молекулярної маси полімерів в широкому діапазоні значень молекулярних мас. Цей метод є опосередкованим і потребує визначення констант в рівнянні, яке виражає залежність в'язкості від молекулярних мас.

Для визначення в'язкості розчину полімеру вимірюють час витікання рівних об'ємів розчинника і розчину через капіляр віскозиметра при постійній температурі. Концентрацію розчину (С) зазвичай виражають в грамах на 100 см³ розчинника, для вимірювання в'язкості використовуються розчини з концентрацією менше 1 г на 100 см³.

Відносна в'язкість $\eta_{від}$ представляє собою відношення часу витікання розчину (t) до часу витікання розчинника (t₀):

$$h_{від} = \frac{t}{t_0} \quad (3.5)$$

Питомою в'язкістю $\eta_{пит}$ називають відношення різниці в'язкості розчину і розчинника до в'язкості розчинника :

$$h_{пит} = \frac{t - t_0}{t_0} = h_{від} - 1 \quad (3.6)$$

Приведеною в'язкістю ($\eta_{пр}$) називають відношення питомої в'язкості розчину полімеру до його концентрації (С):

$$h_{np} = \frac{h_{\text{пит}}}{C} \quad (3.7)$$

Характеристичною в'язкістю $[\eta]$ називають граничне значення відношення $\frac{h_{\text{num}}}{C}$ (або $\frac{\ln h_{\text{від}}}{C}$) при концентрації розчину, що наближається до нуля.

$$[\eta] = \lim_{C \rightarrow 0} \frac{h - h_s}{h_s \cdot C} \quad (3.8)$$

Характеристичну в'язкість $[\eta]$ визначають шляхом графічної екстраполяції значень $\frac{h_{\text{num}}}{C}$ (або $\frac{\ln h_{\text{від}}}{C}$), які були отримані для декількох концентрацій, що наближаються до концентрації рівній нулю.

Відносна та питома в'язкість – безрозмірні величини, а приведена та характеристична в'язкості мають розмірності, зворотні концентраціям.

Для розчинів високомолекулярних сполук Штаудингером встановлена залежність в'язкості від величини молекулярної маси та форми макромолекул. Якщо зробити припущення, що всі макромолекули в розчині мають витягнуту лінійну форму (тоді їх діаметр незрівнянно малий в порівнянні з довжиною) і що сферою дії макромолекул є циліндр висотою, яка дорівнює довжині молекули, і діаметром, що дорівнює діаметру молекули, то зазначена залежність виражається рівнянням:

$$M = \frac{1}{K'} \cdot \frac{h_{\text{num}}}{C} \quad (3.9),$$

K' – константа, яка характерна для даного полімеру гомологічного ряду;

M – середня молекулярна маса полімеру.

Зроблені припущення в реальних системах не витримуються. Однак з огляду простоти експерименту (визначення тільки в'язкості розчину

полімеру) даний метод визначення молекулярної маси отримав розповсюдження.

В даний час для визначення молекулярної маси користуються нелінійним рівнянням Марка-Хувінка, яке виражає залежність характеристичної в'язкості від молекулярної маси:

$$[\eta] = K \cdot M^a \quad (3.10),$$

K і a – константи для даної системи полімер-розчинник при визначеній температурі.

Зазвичай в залежності від природи розчинника величина a , яка визначає ступінь згорнутості макромолекули, коливається в межах 0,5...0,8.

ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ, РЕАКТИВИ ТА МАТЕРІАЛИ

Прилади та обладнання

1. Віскозиметр капілярний.
2. Піпетка на 5 см³.
3. Термостат.
4. Секундомір.
5. Електрична плитка.
6. Хімічний посуд.

Реактиви та матеріали

1. Флокулянти: поліакриламід, карбоксиметилцелюлоза, Magnafloc 156 (молекулярна маса до 20 млн.)
2. Розчинники: 2 %, 6 %, 10 %-ий розчин NaCl.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Для вимірювання в'язкості розведених розчинів застосовують капілярні віскозиметри Оствальда і Уббелоде.

У віскозиметр через скляний фільтр наливають 10 см^3 розчинника, встановлюють віскозиметр в термостат і витримують при заданій температурі визначення 10...15 хвилин.

До капілярної трубки віскозиметра приєднують гумову грушу, тричі промивають капіляр і вимірювальну кульку, всмоктуючи рідину на 1 см вище верхньої позначки. Після цього знову заповнюють капіляр і вимірювальну кульку, фіксують по секундоміру час витікання розчинника від верхньої до нижньої позначки вимірювальної кульки. Час витікання визначають не менше п'яти разів і беруть середнє значення. Якщо результати вимірювань відрізняються більш ніж на 0,2 с, їх відкидають і відповідно збільшують число вимірювань. Час витікання розчинника повинен складати приблизно 100 с.

Визначивши час витікання чистого розчинника $t_{0\text{поч}}$, зливають розчинник через широку трубку віскозиметра, видавлюючи його з капіляру за допомогою груші, а потім видаляють залишки розчинника.

В сухий віскозиметр потім вносять піпеткою 10 см^3 розчину полімеру, визначеної концентрації і знову розміщують віскозиметр у термостат. Після термостатування протягом 15 хвилин промивають капіляр і вимірювальну кульку вказаним вище способом і вимірюють час витікання розчину t_1 .

Якщо відносна в'язкість ($\eta_{\text{від}}$) вихідного розчину буде суттєво вища 1,5, то розчин розводять у віскозиметрі, додаючи піпеткою визначену кількість розчинника. Якщо відносна в'язкість ($\eta_{\text{від}}$) вихідного розчину буде суттєво нижча 1,5, то готують новий, більш концентрований розчин. При цьому відносна в'язкість ($\eta_{\text{від}}$) найбільш розведеного розчину не повинна бути менше 1,1.

Таким чином, підібравши концентрації розчинів полімерів, вимірюють час витікання (t_1, t_2, t_3, t_4, t_5) розчинів полімерів з різними концентраціями

(C_1, C_2, C_3, C_4, C_5). Для розчину кожної концентрації проводять 5 вимірювань і визначають середнє значення.

По закінченні вимірювання розчин виливають з віскозиметра. Потім 2-3 рази промивають розчинником капіляр і вимірну кульку віскозиметра, після чого перевіряють час витікання розчинника $t_{0\text{кін}}$. Середнє значення t_0 повинно повторюватися з точністю до 0,2...0,3 с. В іншому випадку час витікання розчинів треба визначити повторно після очищення віскозиметра. Результати заносять до табл. 3.1.

ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

Таблиця 3.1 – Час витікання розчинів полімерів

Час витікання розчинів полімерів різних концентрацій, с						
$C_0, \text{г/100 см}^3$	$C_1,$	$C_2,$	C_3	C_4	C_5	C_0
$t_0 \text{ поч}$	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	$t_0 \text{ кін}$

На основі отриманих даних знаходять відносну, питому, приведену в'язкість, логарифмічну приведену в'язкість і заносять до табл. 3.2.

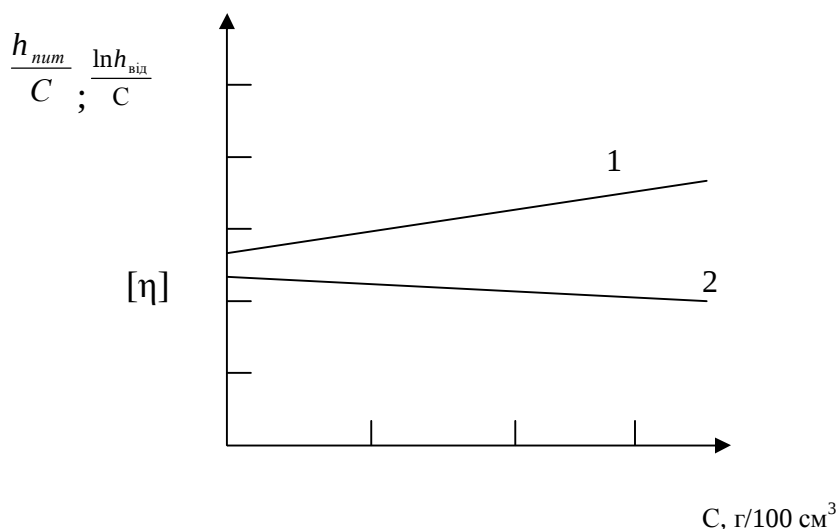
Таблиця 3.2 – Значення в'язкості розчинів полімерів

$C, \text{г/100 см}^3$	$t, \text{с}$	$\eta_{\text{від}}$	$\eta_{\text{пит}}$	$\frac{h_{\text{нум}}}{C}$	$\frac{\ln h_{\text{від}}}{C}$

На основі даних табл. 3.2 будують залежності:

- приведена в'язкість ($\eta_{\text{пр}}$) від концентрації розчину полімеру
 $\eta_{\text{пр}}=f(C),$
- характеристична в'язкість $\frac{\ln h_{\text{від}}}{C}$ від концентрації розчину полімеру $\frac{\ln h_{\text{від}}}{C}=f(C).$

Значення $[\eta]$ отримують екстраполяцією прямих до нульової концентрації. Через похибки вимірювання прямі можуть пересікти вісь ординат в двох точках. В цьому випадку величину визначають як середню з двох отриманих значень (рис. 3.1).



1 – приведена в'язкість ($\eta_{пр} = \frac{h_{num}}{C}$), 2 – характеристична в'язкість ($[\eta] = \frac{\ln h_{вд}}{C}$)

Рисунок 3.1 - Визначення характеристичної в'язкості

Після визначення характеристичної в'язкості $[\eta]$ розраховують молекулярну масу полімеру за формулою Марка-Хаувінка (3.10). Значення констант приведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Константи К та α в рівнянні Марка-Хаувінка-Флори

Полімер	Розчинник	Температура, °C	$K \cdot 10^4$	α
Поліакриламід	10 % NaCl	25	2,5	0,7
Карбоксиметилцелюлоза	2 % NaCl	25	0,23	1,28
	6 % NaCl	25	7,3	0,93

Для флокулянтів з відомою молекулярною масою визначають константи.

ВИСНОВКИ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

ОСВІТЛЕННЯ ВОДИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ФЛОКУЛЯНТІВ

Мета роботи: ознайомитись з методами освітлення води з допомогою флокулянтів.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Вміст завислих речовин в очищеній воді суттєво впливає на ступінь використання її в оборотних циклах. Ступінь очищення води від завислих речовин залежить від:

- характеристик води;
- типу і дози реагентів, які використовуються при її освітленні;
- порядку використання даних реагентів;
- часу освітлення води;
- брудомісткості фільтрів, котрі використовуються для доочищення води.

Для освітлення води використовуються коагулянти та флокулянти.

Флокулянти – високомолекулярні сполуки, які використовуються для інтенсифікації процесів очищення води та зневоднення осадів.

Дані реагенти підвищують ефективність укрупнення осадів, а також покращують водовіддачу осадів за рахунок процесів флокуляції, тобто за рахунок укрупнення твердих часток за допомогою макромолекул флокулянтів.

Флокулянти поділяють на неорганічні, органічні, природні і синтетичні.

Неорганічні флокулянти, частіше за все, представлені різними формами активованої кремнієвої кислоти.

Органічні речовини, які використовуються в якості флокулянтів, можуть бути природного походження або синтетичні.

До *природних* флокулянтів відносяться різноманітні полісахариди, такі як крохмалі, модифіковані целюлози, гуарові смоли, хітозани і т.п. речовини. А також використовують лігносульфонати, гумінові кислоти, білки та інші речовини.

Частіше за все в процесах водоочищення та обробки гідрофільних осадів використовують високомолекулярні *синтетичні* флокулянти. До них відносяться різноманітні полімерні речовини, розчинні у воді. Як правило, це речовини з молекулярною масою $1 \cdot 10^4 \dots 1 \cdot 10^7$ в.о.

Будь-які флокулянти, в тому числі і синтетичні, поділяють на: катіонні, аніонні і неіонні.

Катіонні – ті флокулянти, в структуру яких входять катіонні групи, частіше за все, це амінні чи амонійні групи. До них відносять поліаміни, поліамонійні солі, включаючи і пірідинієві сполуки.

Аніонні – флокулянти, в структуру яких включені аніонні групи, такі як карбоксильні, сульфонові, сульфатні, фосфатні і т.п. групи. Частіше за все аніонними флокулянтами є полікарбонові кислоти, полісульфати та полісульфонати, фосфоровані полісахариди, карбоксицелюлоза і т.п. речовини.

Неіонні – флокулянти, які не містять функціональних груп, здатних до дисоціації у воді з утворенням іонів. До неіоногенних флокулянтів відносяться поліспирти, поліаміди, поліефіри.

Більшість флокулянтів мають лінійну структуру макромолекул. Розгалуджені структури характерні для активної кремнієвої кислоти, амінопектину та деяких синтетичних флокулянтів – поліетиленіліну та заміщених біля азоту поліакриламідів.

Внаслідок руху та обертання окремих ланок форма та розміри макромолекул безперервно змінюються, тому можна говорити лише про найбільш вірогідну статистичну характеристику.

Як правило, при зниженні концентрації флокулянту відбувається розгортання молекули із клубка в лінійну структуру. Особливо це характерно для катіонних або аніонних флокулянтів. У випадку цих речовин заряджені ділянки молекули, які мають однаковий по знаку заряд, відштовхуються між собою, що спричиняє розгортання молекули і наближення її до лінійної структури. Цей ефект посилюється із підвищенням ступеню іонізації іоногенних груп.

Підвищення ступеню дисоціації іоногенних груп відбувається при зниженні концентрації розчину та із зменшенням кількості іоногенних груп в полімерній молекулі.

Особливістю поліелектролітів є непостійність константи дисоціації, яка поступово зменшується по мірі збільшення в макромолекулі кількості груп, здатних до дисоціації. Зменшення константи дисоціації викликано тим, що вже іонізовані групи та хмара протиіонів перешкоджають іонізації решти груп.

Процес дисоціації сповільнюється при підвищенні концентрації індиферентного електроліту тому, що збільшується концентрація протиіонів, а зниження ступеню дисоціації функціональних груп супроводжується згортанням молекули і зменшенням її лінійних розмірів.

Реакція середовища більше впливає на форму катіонних та аніонних флокулянтів. При збільшенні рН аніонні флокулянти розгортаються, тобто лінійні розміри збільшуються. Це пов'язано із підвищенням ступеню дисоціації аніонних груп. При підвищенні рН катіонні флокулянти згортаються, оскільки зменшується ступінь дисоціації іоногенних груп. При зниженні рН, навпаки.

ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ, РЕАКТИВИ ТА МАТЕРІАЛИ

1. Фотоколориметр ФЕК-56.
2. Магнітна мішалка.

3. Технічні ваги.
4. Хімічний посуд.
5. Бентоніт.
6. Каолін.
7. Флокулянти (Гепан, Magnofloc, Praestol).

ПОРЯДОК І РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Приготування модельних суспензій. На технічних вагах зважити 0,2...0,6 г бентоніту (0,1...0,2 г каоліну). Наважку розчинити в 2 дм³ води. Ретельно перемішати. Визначити каламутність модельного розчину фотоелектроколориметричним методом.

2. Визначення ефективності освітлення води при використанні флокулянту. Ретельно перемішавши, модельний розчин розлити в 6 склянок по 100 см³. В кожен склянку внести розрахований об'єм розчину флокулянту, що відповідає дозі Д_ф: 0; 0,2; 0,5; 1,0; 5,0; 10,0 мг/дм³. Ретельно перемішати суміш. Через кожні 20 хвилин протягом 3^х годин відбирати пробу води (декантація) для визначення залишкової каламутності.

ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

Ступінь освітлення води після відстоювання (%) розраховується за формулою:

$$Z = \frac{K_0 - K_3}{K_0} \cdot 100 \quad (4.1),$$

K_0 - вихідна каламутність води, мг/дм³, K_3 – залишкова каламутність води в пробі після відстоювання, мг/дм³

На основі отриманих даних побудувати графіки:

1. Кінетика освітлення води в присутності флокулянту ($K_t=f(\tau)$).

2. Залежність залишкової каламутності води від дози флокулянту після відстоювання протягом 3^x годин. ($K_3=f(D_{\Phi})$)

3. Залежність ступеню освітлення води від дози флокулянту ($Z=f(D_{\Phi})$).

Визначити оптимальну дозу флокулянту

ВИСНОВКИ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОСВІТЛЕННЯ ВОДНИХ СУСПЕНЗІЙ НА НАСИПНИХ МЕХАНІЧНИХ ФІЛЬТРАХ

Мета роботи: ознайомитися з методом очищення води від високодисперсних домішок шляхом фільтрування на насипних механічних фільтрах, визначити основні геометричні характеристики зернистих фільтруючих матеріалів і дослідити процес фільтрування.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Метод фільтрування на насипних механічних фільтрах широко використовують у практиці водопідготовки та очищення стічних вод.

Фільтруванням, в широкому розумінні, називають процес розділення суспензій з використанням пористих перегородок, які затримують тверду фазу і пропускають рідку фазу.

Щоб очистити воду від механічних домішок у промислових умовах, як пористі фільтраційні перегородки використовують здебільшого зернисті сипучі матеріали: кварцевий пісок, здріблений керамзит, кліноптілоліт, антрацит та ін. Основною вимогою до таких матеріалів є їх стійкість до води, що обробляється, тобто матеріал не повинен забруднювати воду. Крім того, ці матеріали повинні бути дешевими та легкодоступними.

Використання зернистих матеріалів для видалення механічних домішок з водних середовищ викликано особливістю будови їх шару, в якому частинки матеріалу чергуються з пустотами, які називаються порами шару. З'єднуючись між собою, пори шару утворюють порові канали, по яких протікає вода. Від форми, розмірів та кількості таких каналів в одиниці об'єму шару буде залежити не тільки гідравлічний режим руху води, але й якість її очищення. На практиці зернистий шар

розглядають як однорідне ізотропне середовище, яке характеризується слідуєчими поняттями.

Пористість шару, m^3/m^3 ; під нею розуміють частку вільного об'єму в зернистому шарі:

$$E = V_{\text{пор}} / V_{\text{ш}} \quad (5.1)$$

$$\text{або } \omega = V_{\text{пор}} / V_{\text{тв.ф}} \quad (5.2),$$

$V_{\text{пор}}$ – об'єм пор в шарі зернистого матеріалу; $V_{\text{ш}} = V_{\text{пор}} + V_{\text{тв.ф}}$ – сумарний об'єм пор зернистого шару; $V_{\text{тв.ф}}$ – об'єм твердої фази.

З рівняння (5.1) і (5.2) випливає

$$E = 1 - (a_{\text{тв.ф}} / \rho_{\text{тв.ф}}) \quad (5.3)$$

$$\omega = (\rho_{\text{тв.ф}} / a_{\text{тв.ф}}) - 1 \quad (5.4)$$

$$E = \omega / (1 + \omega) \quad (5.5),$$

$a_{\text{тв.ф}}$ та $\rho_{\text{тв.ф}}$ – насипна маса та щільність зернистого матеріалу, які визначаються відповідно як

$$a_{\text{тв.ф}} = G_{\text{тв.ф}} / V_{\text{ш}} \text{ та } \rho_{\text{тв.ф}} = G_{\text{тв.ф}} / V_{\text{тв.ф}} \quad (5.6),$$

$G_{\text{тв.ф}}$ – маса твердої фази.

Живий переріз. Під ним розуміють сумарну площу пор в міделевому перерізі зернистого шару, тобто в перерізі перпендикулярно вектору потоку рідини.

$$F_{\text{ж.п.}} = F_{\text{ап}} - \Sigma F_{\text{тв.ф}} \quad (5.7),$$

$F_{\text{ап}}$ та $\Sigma F_{\text{тв.ф}}$ – площа перерізу апарату та сумарна площа перерізу всіх часток твердої фази зернистого шару, які розташовані в міделевому перерізі.

Частка вільного перерізу визначається відношенням

$$E_S = F_{\text{ж.п.}} / F_{\text{ап}} \quad (5.8)$$

Якщо апарат завантажено рівномірно, у зернистих шарах завжди зберігається рівність

$$E = E_S \quad (5.9)$$

З рівняння (5.1), (5.8) та (5.9) випливає, що

$$E_S/E = (F_{ж.п.} \cdot h_{ш} \cdot V_{ш}) / (F_{ап} \cdot h_{ш} \cdot V_{пор}) = 1 \quad (5.10)$$

$$\text{звідки } F_{ж.п.} = V_{ш} / h_{ш} \quad (5.11),$$

$h_{ш}$ – висота зернистого шару.

Поверхня зерен шару. Під нею розуміють добуток “змоченого” периметру, тобто сума контурів всіх часток, що омиваються, на висоту зернистого шару, m^2 :

$$S_{з.ш} = p \cdot h_{ш} \quad (5.12)$$

Поверхню зерен шару прийнято відносити або до одиниці об’єму шару, m^2/m^3

$$S_{з.ш}' = S_{з.ш} / V_{ш} \quad (5.13)$$

або до одиниці об’єму зерен, m^2/m^3 , в шарі

$$S_0 = S_{з.ш} / V_{тв.ф} \quad (5.14)$$

Значення S_0 та $S_{з.ш}$ відповідно називаються питомою поверхнею шару і питомою поверхнею зерен у шарі. Із визначення цих величин і рівняння (5.1) випливає співвідношення

$$S_{з.ш}' = S_0 \cdot (1 - E) \quad (5.15)$$

Якщо шар складається з монодисперсних частинок правильної кулеподібної форми, то

$$S_{з.ш}' = 6 \cdot (1 - E) / d; S_0 = 6 / d \quad (5.16),$$

d – діаметр кулеподібних зерен шару.

Для полідисперсних шарів, які складаються з кулеподібних частинок з різними діаметрами, у рівнянні (5.14) використовують середній діаметр зерен d'' :

$$1/d'' = \sum (g_i / d_i) \quad (5.17),$$

g_i – вагова доля зерен з даним діаметром d_i . Тоді:

$$S_{зш}' = 6 \cdot (1 - E) \cdot \sum (g_i / d_i); S_0 = 6 \cdot \sum (g_i / d_i) \quad (5.18)$$

Коефіцієнт форми. Ним характеризують відхилення форми зерен від сферичної:

$$a_{\Phi}=6/(S_0 \cdot d_c) \quad (5.19),$$

d_c – середній діаметр сита, який визначається як середнє арифметичне між діаметрами сита, через яке дане зерно проходить, і діаметр сита, на якому воно затримується. Сумісно вирішуючи рівняння 5.16 та 5.17, отримуємо:

$$S'_{з.ш}=6 \cdot (1-E) \cdot \Sigma(g_i/a_{\Phi} \cdot d_{c_i}); S_0= 6 \cdot \Sigma(g_i/ a_{\Phi} \cdot d_{c_i}) \quad (5.20)$$

Гідравлічний радіус. Під ним розуміють відношення площі й живого перерізу до “змоченого” периметра:

$$r_{\Gamma}=F_{ж.п}/p \quad (5.21)$$

Для каналів перерізу у вигляді кола співвідношення між діаметром каналу і гідравлічним радіусом в гідравлиці визначається рівністю

$$r_{\Gamma}=d_{\kappa}/4 \quad (5.22),$$

d_{κ} – діаметр каналу.

Еквівалентний діаметр каналів шару:

$$d_E=4 \cdot r_{\Gamma} \quad (5.23)$$

З рівнянь (5.23), (5.21), (5.10), (5.1), (5.12) можна отримати:

$$d_E=4 \cdot E \cdot V_{ш}/S'_{з.ш} \quad (5.24)$$

Використовуючи поняття питомої поверхні, рівняння (7.24) можна подати так:

$$d_E=4 \cdot E/S'_{з.ш}; d_E=4 \cdot E/S_0(1-E) \quad (5.25)$$

Для шару, який складається з полідисперсних часто неправильної форми, співвідношення між середнім діаметром зерна і d_E :

$$d_E=2 \cdot E \cdot d'' \cdot a_{\Phi}/3 \cdot (1-E) \quad (5.26)$$

Таблиця 5.1 – Результати ситового аналізу

Діаметр сита, 10^{-3} , м	Залишок на ситі, г	Залишок на ситі в частинах від вихідної маси, g_i	Діаметр зерен піску, $d_i \cdot 10^{-3}$ м	$(g_i/d_i) \cdot 10^{-3}$, $м^{-1}$
0,25	18	0,090	$(0,25+0,41)/2=0,33$	0,27
0,41	12	0,060	$(0,41+0,56)/2=0,59$	0,12

0,56	71	0,355	$(0,56+0,68)/2=0,62$	0,56
0,68	60	0,300	$(0,68+0,8)/2=0,74$	0,40
0,94	12	0,060	$(0,94+1,01)/2=0,87$	0,10
1,01	6	0,030	$(1,01+1,28)/2=1,14$	0,03
1,28	2	0,010	----	----
$\Sigma 1,54$				

Коефіцієнт неоднорідності η . Він характеризує широту діапазону діаметрів полідисперсних завантажень і визначається з рівняння:

$$\eta = d_{80}/d_{10} \quad (5.27)$$

d_{80} та d_{10} – діаметри дірок сит, через які проходять 80 та 10 % зерен зразка. Значення d_{80} та d_{10} розраховують за формулами:

$$d_{80} = (d_K + (d_{K+1} - d_K) \cdot (80 - p_K)) / (p_{K+1} - p_K) \quad (5.28)$$

$$d_{10} = (d_m + ((d_{m+1} - d_m) \cdot (80 - p_m)) / (p_{m+1} - p_m) \quad (5.29)$$

d_m – діаметр найближчого сита, через яке пройшло менше 10 % усього матеріалу; d_{m+1} – те саме, але більше 10 %; d_K – діаметр найближчого сита, через яке пройшло менше 80 % усього матеріалу; d_{K+1} – теж саме, але більше 80 %; p_m – процентна кількість матеріалу, що пройшла через сито діаметром d_m ; p_{m+1} – те саме для сита діаметром d_{m+1} ; p_K – те саме для діаметру d_K ; p_m – те саме для сита з діаметром d_{K+1} .

З рівняння (5.27) витікає, що коефіцієнт неоднорідності завжди більше одиниці. Для ідеально однорідного середовища $\eta=1$. Зазвичай фільтруючий матеріал вважається однорідним, якщо $\eta=2$.

Поверхневий аналіз наведених рівнянь показує, що основними характеристиками зернистих завантажень є E , d_i , S_0 . Усі три величини визначають експериментально: першу – вимірюванням насипної маси та щільності з послідовним розрахунком за рівнянням (5.3), другу – ситовим аналізом, третю – адсорбційними методами.

Нижче наведено геометричні характеристики деяких фільтруючих матеріалів.

Таблиця 5.2 – Геометричні властивості фільтрувальних матеріалів

Фільтруючий матеріал	Пористість шару, E	Коефіцієнт форми a_f	Коефіцієнт неоднорідності, η	Середньоповерхневий діаметр, d, мм
Кварцевий пісок	0,44	0,67	1,95	0,65
Антрацит	0,54	0,66	2,00	0,80
Сульфовугілля	0,56	0,66	2,37	0,70

Фільтр із зернистим шаром є резервуар, який містить водорозподільні та дренажні пристрої. Залежно від кількості зернистих шарів розрізняють одношарові та багатошарові фільтри. Залежно від способу створення тиску над фільтрувальною перегородкою розрізняють напірні і безнапірні фільтри.

Одним з основних рівнянь, що описують процес фільтрування, є залежність, що пов'язує зміну концентрації речовини, що виділяють, швидкість фільтрації, висоту шару фільтруючого матеріалу і розмір його зерен:

$$C/C_0 = f(X, T) \quad (5.30)$$

C – концентрація зависі у воді в момент часу, мг/дм³; C_0 – концентрація зависі у вихідній воді, мг/дм³; X та T – критерії подібності процесу.

$$X = B \cdot x \quad T = a \cdot t \quad (5.31)$$

x – товщина зернистого шару, см; t – час з початку процесу; B і a – параметри процесу, які визначаються методами теорії розмірності.

$$B = \beta \cdot V^{E1} \cdot d^{\lambda1} \quad a = \alpha \cdot V^{E2} \cdot d^{\lambda2} \quad (5.32)$$

V – швидкість фільтрування; d – діаметр зерен завантаження; β та α – коефіцієнти, які враховують сукупність впливу фізичних та фізико-хімічних властивостей води та зависі.

Звідки:

$$X = \beta \cdot V^{E1} \cdot d^{\lambda1} \cdot x \quad (5.33)$$

$$T = \alpha \cdot V^{E_2} \cdot d^{\lambda_2} \cdot t \quad (5.34)$$

Обробка великої кількості експериментальних даних показала, що показники ступеню при V і d в широкому діапазоні зміни швидкостей фільтрації і розмірів зерен завантаження при різному складі води, що фільтрується, практично не змінюються і складають:

$$E_1 = -0.7; E_2 = 1.0; \lambda_1 = -1.7; \lambda_2 = -1.0;$$

Отже:

$$V = \beta / (V^{0.7} \cdot d^{1.7}); a = \alpha \cdot V/d \quad (5.35)$$

Швидкість фільтрування, $m^3/m^2 \cdot \text{хв}$:

$$V = W / (S \cdot \tau) \quad (5.36),$$

W – об'єм фільтрату за час, m^3 ; S – поверхня фільтрування, m^2 ; τ – тривалість фільтрування, хв.

Якщо порівнювати процеси, які протікають при фільтруванні води на фільтрах з різним завантаженням і швидкістю фільтрування, то для них коефіцієнти β і α будуть однаковими і можуть не враховуватися при розрахунках. В таких випадках критерії подібності мають вигляд:

$$X' = V^{E_1} \cdot d^{\lambda_1} \cdot x; T' = V^{E_2} \cdot d^{\lambda_2} \cdot t;$$

$$\text{або } X = x / (V^{0.7} \cdot d^{1.7}); T' = (t \cdot V) / d \quad (5.37)$$

Експериментальні дані підтверджують, що між X та T існує залежність:

$$X = K \cdot T + X_0 \quad (5.38)$$

Звідки:

$$T = (X - X_0) / K \quad (5.39)$$

K і X_0 – константи.

Якщо існує взаємозв'язок між T і X , то можна записати:

$$C/C_0 = f(X')$$

Підставивши замість X' його значення, отримуємо:

$$C/C_0 = f(x / (V^{0.7} \cdot d^{1.7})) \quad (5.40)$$

ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ, МАТЕРІАЛИ, РЕАКТИВИ

Обладнання та прилади

1. Хімічний посуд.
2. Прилад для фільтрування (рис. 5.1).
3. Аналітичні ваги.
4. Секундомір.

Матеріали

1. Кварцевий пісок.
2. Фільтрувальний папір.
3. Суспензія крейди у воді (0,5 г/дм³).

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Визначення основних геометричних характеристик зернистих фільтруючих матеріалів

Основні геометричні характеристики зернистих фільтрувальних матеріалів визначають шляхом ситового аналізу і вимірювання їх насипної маси та щільності. Для цього:

- зважують пробу 100 г фільтруючого матеріалу, наприклад, кварцевого піску;
- визначають насипну масу ($a_{\text{тв.ф}}$) і щільність зернистого матеріалу ($\rho_{\text{тв.ф}}$) відповідно як:

$$a_{\text{тв.ф}} = G_{\text{тв.ф}} / V_{\text{ш}} \quad \rho_{\text{тв.ф}} = G_{\text{тв.ф}} / V_{\text{тв.ф}}$$

- проводять ситовий аналіз проби, результати якого заносять у табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Ситовий аналіз проби

Діаметр сита, 10^{-3} м	Залишок на ситі, г	Залишок на ситі в частинах від вихідної маси, g_i	Діаметр зерен піску, $d_i \cdot 10^{-3}$, м	$(g_i/d_i) \cdot 10^{-3}$, м^{-1}

Визначення процесу фільтрування

Пристрій для дослідження процесу фільтрування

Пристрій (рис.5.1) – це циліндрична склянка, в нижній частині якої прикріплено металевий перехідник 2 з різьбою на зовнішній поверхні. До нижньої частини перехіднику прикріплено конічний збірник 1. Між збірником 1 та перехідником 2 з нижнього торцю скляного стакану через проміжне кільце 7 встановлено підтримуючу сітку 6. Конічний збірник з'єднано з перехідником різьбовим з'єднанням, через проміжне кільце притиснуто підтримувальну сітку, на яку насипається шар зернистого матеріалу певної висоти. Після завантаження фільтра на шар фільтрувального матеріалу заливають суспензію для фільтрування. Після завершення фільтрування пристрій розбирають та промивають.

Порядок виконання експерименту

1. Підготувати суспензію певної концентрації, наприклад, суспензію крейди у воді ($0,5 \text{ г/дм}^3$).
 2. Визначити каламутність вихідного розчину K_0 , мг/дм^3 .
 3. Засипати шар фільтроматеріалу (піску) заввишки 10 мм (х).
 4. Залити 100 см^3 суспензії і з допомогою секундоміру час, за який відфільтрується 50 см^3 проби.
 5. Визначити залишкову каламутність розчину (K_3).
 6. Промити фільтрматеріал дистильованою водою (200 см^3).
 7. Збільшити завантаження ще на 10 мм.
 8. Повторити дії описані в п.п. 4 – 7.
- Отримані дані заносять до табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Вплив висоти фільтруючого матеріалу на ефективність освітлення води

Параметри дослідження	Номер проби					
	1	2	3	4	5	6
Висота зернистого шару x , мм						
Каламутність вихідного розчину (K_0), г/дм ³						
Каламутність фільтрату (K_3), г/дм ³						
Швидкість фільтрування, м/год						
Співвідношення K_3/K_0						

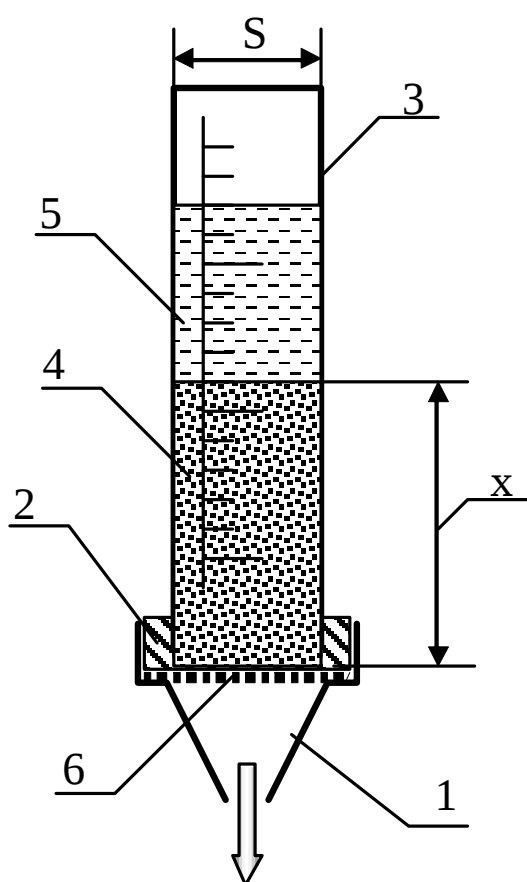


Рисунок 5.1 – Пристрій для дослідження процесу фільтрації

1. Конічний збірник очищеної води.
2. Перехідник.
3. Скляний циліндричний стакан.
4. Зернистий шар (фільтрувальний матеріал).
5. Водяна суспензія для очищення.
6. Підтримуюча сітка.

СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Обробка результатів по визначенню основних геометричних характеристик зернистих фільтруючих матеріалів

За даними ситового аналізу і розрахованим значенням насипної маси та щільності, використовуючи формули, що приведені в теоретичній

частині, розраховують основні геометричні характеристики зернистого фільтруючого матеріалу (піску): пористість шару, E ; питому поверхню зерен в шарі S_0 ; коефіцієнт неоднорідності η ; коефіцієнт форми, a_f ; середньоповерхневий діаметр d'' ; еквівалентний діаметр каналів шару d_e . Результати зводять у табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Геометричні властивості фільтрувальних матеріалів

Фільтруючий матеріал	Пористість шару, E	Питома поверхня зерен в шарі S_0	Коефіцієнт форми a_f	Коефіцієнт неоднорідності, η	Середньоповерхневий діаметр, d'' , мм	Еквівалентний діаметр каналів шару, d_e , мм

Обробка результатів дослідження процесу фільтрування

Для того, щоб отримати більш чітке уявлення про закон залежності $C/C_0=f(x/(V^{0.7} \cdot d^{1.7}))$ на основі результатів вимірювання будемо намагатися отримати формулу, що приблизно описує цю залежність. Отримана таким чином формула називається емпіричною формулою.

Ідея будови емпіричної формули за даними складається в слідуючому: підібрати таку функцію, що виражається формулою досить простого виду, щоб значення цієї функції були близькими до значень, які були отримані із дослідів.

Для отримання емпіричної формули слід почати з будови точкового графіку. Відношення K_3/K_0 будемо вважати функцією, а висоту зернистого шару – аргументом. За результатами вимірювань на площині координат відмічаємо точки, абсциси яких – значення аргументу – X , ординати – значення $y=K_3/K_0$. Це і буде точковий графік, який зображує геометричні результати вимірювань.

Дивлячись на графік, малюємо (на око) плавну лінію, таку, що точки графіку близькі до неї і розташовуються по обидві сторони від неї.

Отримана плавна лінія і буде графіком функції, яка приблизно виражає залежність між величинами. При побудові графіку немає необхідності домагатися того, щоб лінія проходила через дослідні точки. Результат вимірювання – приблизні числа. Тому за своєю природою дослідні точки повинні трохи відхилятися від істинного графіку. При цьому, так як відхилення мають випадковий характер, вони можуть бути і в стороні збільшення, і в стороні зменшення – і вище, і нижче графіку. Розглядаючи графік, можна зробити припущення про те, який вид функції, графіком якої вона є. Подальший розрахунок складається з того, щоб встановити значення параметрів, що входять у формулу, яка виражає цю функцію. Будуємо точковий графік та приблизну пряму в масштабі. На прямій вибираємо дві точки (які значно віддалені одна від одної) і визначаємо їх координати (x, y) та (x_1, y_1) . Для визначення коефіцієнтів a і b в залежності $y=ax+b$ записуємо систему рівнянь:

$$ax+b=y$$

$$ax_1+b=y_1$$

З цієї системи знаходимо значення a і b .

ВИСНОВКИ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

РЕАГЕНТНЕ ПОМ'ЯКШЕННЯ ВОДИ

Мета роботи: визначення впливу реакції середовища, типу реагенту, його витрати, температури на ефективність пом'якшення води.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Вимоги до якості води, що використовується на підприємствах, в кожному конкретному випадку визначаються, виходячи з вимог технології. Для води, яка використовується в водооборотних системах підприємств, існує ряд параметрів, які необхідно витримувати, незалежно від типу підприємства.

Допустима концентрація змулених речовин в охолоджувальній воді, що циркулює в системах водопостачання, в першу чергу, залежить від швидкості руху води в теплообмінних апаратах. Якщо вміст нерозчинених речовин перевищує допустиму границю, то оборотну та свіжу воду очищують від завислих речовин. Слід пам'ятати, що завислі речовини, які присутні у воді оборотних систем, є центрами кристалізації солей жорсткості та одночасно є цементуючою основою для відкладання карбонату кальцію на стінках теплообмінної поверхні та поверхні трубопроводів.

Оборотна вода теплообмінних систем водопостачання, так як і вода, що використовується в послідовно з'єднаних системах проточного водоспоживання, повинна зберігати термостабільність. Тобто підігрів не повинен призводити до утворення на теплообмінній поверхні відкладень карбонатів кальцію та магнію.

В більшості оборотних систем теплообмінного водопостачання карбонатна жорсткість води повинна знаходитись в межах 2...3 мг-екв/дм³.

Для оцінки термостабільності оборотних систем застосовують шестибальну шкалу (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Шкала термостабільності води

Група термостабільності	Швидкість карбонатних відкладень		Бал термостабільності
	г/(м ² ·год)	мм/місяць	
I - абсолютно термостабільна	0	0	1
II - термостабільна	0,3	0,1	2
	0,1...1,0	0,1...0,5	3
III – обмежено термостабільна	1,5...3,0	0,5...1,0	4
	3,0...15,0	1,0...5,0	5
IV - нетермостабільна	15,0	5,0	6

Вода не повинна викликати корозію нелегованої сталі та інших матеріалів, що використовуються в теплообмінній апаратурі та комунікаціях. Вміст розчинених речовин в оборотній воді зростає пропорційно коефіцієнту випаровування. При цьому збільшується корозійна активність середовища. При відсутності інгібіторів гранично допустимий вміст солей в оборотній воді рекомендують не допускати вище 2 кг/м³, хоча в окремих випадках мінералізація оборотної води досягає 3 кг/м³.

Допустима швидкість біологічного обростання теплообмінних апаратів не повинна перевищувати 0,07 г/(м²·год), а швидкість збільшення товщини шару не повинна перевищувати 0,05 мм/місяць. Для попередження інтенсивного біообростання споруд та апаратів в оборотній, а отже, і в свіжій воді має бути обмеженим вміст органічних сполук та сполук біогених елементів (азоту, фосфору та ін.), які є поживним середовищем для мікроорганізмів.

Виходячи з вище наведених вимог, можна визначити характеристики свіжої води, яку подають в оборотну систему. Кількість цієї води можна визначити з рівняння матеріального балансу:

$$Q_{\text{св}} = Q_{\text{кв}} + Q_{\text{вв}} + Q_{\text{вип}} + Q_{\text{ск}} \quad (6.1)$$

$Q_{\text{св}}$ – кількість свіжої води, що подається у систему; $Q_{\text{кв}}$ - кількість води, що виноситься у вигляді крапель з градирні; $Q_{\text{вв}}$ - виробничі втрати води; $Q_{\text{вип}}$ – втрата води від випаровування на градирні; $Q_{\text{ск}}$ – кількість води, яка скидається із системи при продувці.

Допустимий вміст солей, або окремих іонів інших речовин $C_{\text{доп}}$ в свіжій воді визначають з умов збереження постійного складу оборотної води, що циркулює в системі ($C_{\text{об}}$):

$$Q_{\text{св}} \cdot C_{\text{доп}} = (Q_{\text{кв}} + Q_{\text{вв}} + Q_{\text{ск}}) \cdot C_{\text{об}} \quad (6.2)$$

$$C_{\text{доп}} = (Q_{\text{кв}} + Q_{\text{вв}} + Q_{\text{ск}}) \cdot C_{\text{об}} / Q_{\text{св}} \quad (6.3)$$

Середні втрати води від випаровування складають близько 2,5 % від загального об'єму, від капельного виносу на градирнях – 0,3...0,5 %, скид на продувку складає – 6...10 %, решта втрат складає близько 1 % від об'єму оборотної води.

Вимоги до якості води, що подається для підживлення оборотної системи, приведено в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Вимоги до якості води для підживлення теплообмінних систем оборотного водопостачання хімічної промисловості

Показник якості	Оборотна вода	Вода для підживлення	
		при скиді на продувку	без скиду (замкнутий цикл)
Жорсткість карбонатна, г-екв/м ³	2,5	2	0,9
Жорсткість постійна, г-екв/м ³	5,0	4	1,9
Загальний вміст солей, г/м ³	1200	900	445
Хлориди, г/м ³	300	237	112
Сульфати, г/м ³	350...500	277...395	119...187
Сума фосфору та азоту, г/м ³	3	2,4	1,1
Змулені речовини, г/м ³	30	23,6	11,2
Окислюваність перманганатна, г/м ³	8...15	11,8...12,8	3...5,7
ХПК, г/м ³	70	55	26
Масла, смоли, г/м ³	0,3	0,25	0,1

ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ, МАТЕРІАЛИ, РЕАКТИВИ

Обладнання

1. Хімічний посуд.
2. Термометри.

Прилади

1. рН-метр.
2. Магнітна мішалка.
3. Термостат.

Реактиви

1. Гідроокис натрію, 0,1Н.
2. Гідрокарбонат натрію, 1Н.
3. Фосфат натрію, 1Н.
4. Вапно.
5. Трилон Б, 0,1Н.
6. Індикатор – еріохром чорний Т.
7. Амонійний буфер

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Суть реагентного методу пом'якшення води полягає у зв'язуванні іонів кальцію та магнію хімічними речовинами в малорозчинні сполуки, які легко видаляються з води. В залежності від реагенту, який застосовується, розрізняють слідуючі методи: вапняний, содовий, лужний, фосфатний. Часто застосовують змішані методи.

На ефективність процесу впливають ряд факторів: тип реагенту, рН середовища, температура, величина постійної та тимчасової жорсткості води.

Визначення оптимального рН води в процесі пом'якшення різними реагентами

Беруть п'ять стаканів, що містять по 100 см³ водопровідної води, в якій попередньо визначено тимчасову та постійну жорсткість (постійну жорсткість визначають методом трилонометрії). Приливаючи у воду відповідні реагенти (NaOH, Na₂CO₃, Na₃PO₄), доводять рН, перемішуючи розчин магнітною мішалкою в першому стакані до 9, в другому – до 9,5 і т.д. до рН 11. Сухе вапно (СаО) додають невеликими порціями. При цьому слід фіксувати об'єм розчину або масу реагенту, потрібного для доведення рН до заданого значення. Через 30 хвилин воду фільтрують, у фільтраті визначають залишкову жорсткість води та кінцеве значення рН. Отримані результати зводять у табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Залежність процесу пом'якшення води від рН розчину

рН розчину		Реагент	Витрата реагенту, мг/дм ³	Об'єм 0,1Н розчину трилону Б, см ³	Залишкова жорсткість води, мг-екв/дм ³	Ступінь пом'якшення, Z, %
початкова	кінцева					
9,0						
9,5						
10,0						
10,5						
11,0						

Слід порівняти результати, отримані при різних значеннях рН для кожного реагенту, а також ефективність різних реагентів між собою при однакових рН.

Визначення впливу температури на ефективність реагентного пом'якшення води

У п'яти хімічних стаканах з водопровідною водою розчином реагенту доводять реакцію середовища до певного значення рН (9, 10, 11). Потім

витримують розчини 30 хвилин при різних температурах: 25, 35, 50, 80, 100 °С. Після охолодження розчини фільтрують. Визначають залишкову жорсткість та рН води. Результати зводять в табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Залежність процесу пом'якшення води від температури

Температура, °С	рН води		Об'єм розчину трилону Б, см ³	Залишкова жорсткість води, мг-екв/дм ³	Ступінь пом'якшення, Z, %
	початкова	кінцева			
25	9 (10)				
35	9 (10)				
50	9 (10)				
80	9 (10)				
100	9 (10)				

СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Визначення ступеню пом'якшення реагентним методом

Ступінь пом'якшення води (%) розраховують за формулою:

$$Z = \left(1 - \frac{Ж_k}{Ж_0}\right) \cdot 100\% \quad (6.4)$$

$Ж_k$ – залишкова жорсткість води, мг-екв/дм³, $Ж_0$ – початкова жорсткість води, мг-екв/дм³.

Розрахувавши Z для всіх приведених випадків (реактивів, рН, температур) отримані значення вносять відповідно в табл. 6.3 та табл. 6.4.

На основі отриманих результатів необхідно побудувати графіки залежності:

- Залишкова жорсткість води від вихідного рН середовища, $Ж_k = f(pH)$,
- Ступінь пом'якшення води від вихідного рН середовища, $Z = f(pH)$,
- Залишкова жорсткість води від температури, $Ж_k = f(T)$,
- Ступінь пом'якшення води від температури, $Z = f(T)$,

ВИСНОВКИ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

АДСОРБЦІЯ ОРГАНІЧНОЇ РЕЧОВИНИ ВУГІЛЛЯМ В СТАТИЧНИХ УМОВАХ

Мета роботи: ознайомитись з методами очищення води від органічних речовин на активованому вугіллі в статичних умовах.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Під адсорбцією в широкому значенні цього слова розуміють зміну концентрації одного із компонентів гетерогенної системи на межі розділення фаз. Тверді тіла, які знаходяться у контакті з розчином, здатні поглинати деякі кількості розчинної речовини, накопичуючи його на своїй поверхні. Аналогічні явища спостерігаються також при контакті твердих тіл з газами. Тверде тіло або ту фазу гетерогенної системи, на поверхні якої відбувається адсорбція, називають адсорбентом, речовина, яка адсорбується – адсорбатом. Причиною сорбції є те, що молекули на поверхні адсорбенту є енергетично ненасиченими. Адсорбент має вільну поверхневу енергію і поглинає молекули адсорбату із оточуючого його газу або розчину. При цьому зменшується величина його вільної поверхневої енергії, отже даний процес відбувається самочинно.

Адсорбція залежить від площі поверхні адсорбенту, природи адсорбенту і адсорбату, температури, концентрації розчину, а при адсорбції газів або парів – від їх парціального тиску. На адсорбцію із розчинів впливає також природа розчинника. При збільшенні концентрації розчину адсорбція зростає. Залежність адсорбції (за постійної температури) від рівноважної концентрації адсорбату виражається рівнянням, яке має назву ізотерми адсорбції.

На рис. 7.1 графічно зображено типову ізотерму адсорбції, яка виражає залежність кількості адсорбату, поглинутого одним кілограмом

адсорбенту ($a = \frac{x}{m}$) від рівноважної концентрації адсорбату (C_p). За незначних рівноважних концентрацій адсорбція зростає пропорційно концентрації, що знаходить своє зображення в прямолінійному ході ізотерми на ділянці vd . Горизонтальна ділянка ef означає, що, незважаючи на подальше збільшення концентрації, ріст адсорбції припиняється внаслідок насичення адсорбенту молекулами речовини, що адсорбується. Тобто досягається граничне значення питомої адсорбції (скорочено – гранична адсорбція, a_∞).

Найчастіше використовується емпіричне рівняння ізотерми сорбції Фрейндліха:

$$\frac{x}{m} : a = k \cdot C_p^{1/n} \quad (7.1)$$

a – величина адсорбції, моль/кг; x – кількість адсорбованої речовини, моль; m – маса адсорбенту, кг; C_p – рівноважна концентрація адсорбенту, моль/м³; k і $1/n$ – емпіричні константи.

Константа дорівнює кількості адсорбату, що поглинається 1 кг адсорбенту, за рівноважної концентрації, яка дорівнює одиниці. Рівняння Фрейндліха графічно представлено кривою і застосовується при середніх значеннях рівноважної концентрації відповідної області II (рис. 7.1).

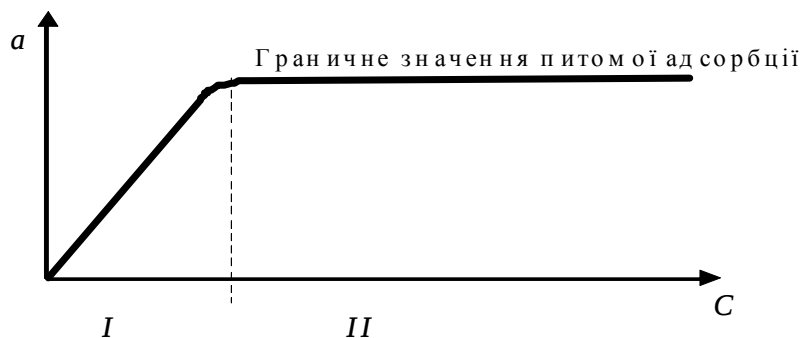


Рисунок 7.1 – Залежність адсорбції від рівноважної концентрації адсорбату за постійної температури

У найпростішому випадку ізотерма молекулярної адсорбції із розчинів добре описується рівнянням Ленгмюра в широкому діапазоні рівноважної концентрації адсорбату:

$$a = a_{\infty} \cdot \frac{k \cdot C}{1 + kC} \quad (7.2),$$

a – величина адсорбції (моль/кг) при рівноважній концентрації адсорбату C_p (моль/м³); a_{∞} – гранична адсорбція, моль/кг; k – константа рівняння Ленгмюра, м³/моль.

ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ, РЕАКТИВИ ТА МАТЕРІАЛИ

1. Фотоколориметр КФК-2 МП, (кювети на 3 см).
2. Пристрій для струшування.
3. Конічні колби.
4. Скляні лійки.
5. Бюретки на 50 см³.
6. Паперові фільтри.
7. Розчин анілінового барвника ($C=100$ мг/дм³).

ПОРЯДОК І РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Вихідним розчином є водний розчин анілінового барвника. Готують шість пронумерованих колб, в них наливають по чергову із бюретки розчини барвника і дистильованої води. Концентрація барвника $C=100$ мг/дм³ (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – Значення початкових і кінцевих концентрацій барвника

№ колби	1	2	3	4	5
V барвника, см ³	80	60	40	20	10
V дист. води, см ³	20	40	60	80	90
C_0 , мг/дм ³					
C барвника після сорбції, C_p , мг/дм ³					

До кожної колби всипають заздалегідь приготовлену наважку активованого вугілля масою 1 г.

Наважку вугілля зважують на технічних вагах з точністю 0,01 г. Вміст колб струшують протягом 20 хвилин, після чого фільтрують в пронумеровані чисті колби крізь паперові фільтри. Фільтри водою не змочують, щоб не змінити концентрацію фільтрату. Перші порції фільтрату (5...7 см³) виливають, тому що в перших порціях концентрація барвника знижена внаслідок адсорбції його фільтрувальним папером. Потім визначаються рівноважні концентрації барвника після адсорбції спектрофотометричним методом.

Дані заносять у табл. 7.1.

ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

На підставі даних дослідів розраховують питому адсорбцію

$$a_{\text{ЕК}} = \frac{x}{m} = \frac{(C_0 - C_p) \cdot V}{m}, \text{ г/г} \quad (7.3)$$

C_0 – початкова концентрація барвника в колбах, мг/дм³; C_p – рівноважна концентрація барвника після адсорбції, мг/дм³; V – об'єм розчину, дм³; m – наважка вугілля, г.

За даними розрахунків будується ізотерма адсорбції $a=f(C_p)$.

ВИСНОВКИ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №8

ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД БАРОМЕМБРАННИМ МЕТОДОМ

Мета роботи: ознайомитися з методами очищення води від барвників за допомогою ультрафільтрації, визначити селективність та проникність мембран, отримати початкові дані для вибору режиму очищення води від барвника.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Баромембранні методи розділення сумішей базуються на використанні загальної властивості мембран – напівпроникності, тобто здатності пропускати одні компоненти суміші та затримувати інші. В залежності від дисперсності компонентів, що затримуються мембраною, ці методи включають зворотний осмос (або гіперфільтрацію), ультра- та мікрофільтрацію.

Кількісно їх характеризують величиною проникності мембрани – трансмембранним потоком I ($\text{м}^3/\text{м}^2\text{с}=\text{м}/\text{с}$) та коефіцієнтом затримання (селективністю):

$$R = 1 - \frac{C_n}{C_0} = \frac{\Delta C}{C_0} \quad (8.1)$$

C_0 та C_n – відповідно концентрація компонента в початковому розчині та в пермеаті, що пройшов через мембрану, $\text{мг}/\text{дм}^3$; ΔC – зміна концентрації, $\text{мг}/\text{дм}^3$.

Баромембранні процеси можна умовно класифікувати так: мікрофільтрація (розмір пор $0,1\ldots 10$ мкм, тиск $0,05\ldots 0,1$ МПа), ультрафільтрація ($3\ldots 100$ нм, $0,1\ldots 2,0$ МПа), зворотний осмос (до 3 нм, $1\ldots 25$ МПа).

Взаємозв'язок основних технологічних характеристик процесів баромембранного розділення (I та R) можна встановити, користуючись математичним апаратом термодинаміки незворотних процесів:

$$I_v = \ell_p \cdot (\Delta P - \sigma \cdot \Delta \Pi) \quad (8.2)$$

$$x = C_o \cdot (1 - \sigma) \cdot I_v + \ell_x \cdot \Delta C \quad (8.3)$$

I_v та x – об'ємний та хімічний потоки; ΔP та $\Delta \Pi$ – перепади прикладеного та осмотичного тиску; ℓ_p та ℓ_x – коефіцієнти проникності; I – коефіцієнт відбиття, що враховує взаємодію потоків, δ – товщина примембранного концентраційного шару.

З (8.2) та (8.3) випливає:

$$R = s \frac{1 - \exp[-I_v \cdot (1 - s) / \ell_x]}{1 - s \cdot \exp[-I_v \cdot (1 - s) / \ell_x]} \quad (8.4)$$

Ефективність баромембранного розділення визначається не тільки взаємодією потоків усередині мембрани, але й, значною мірою, процесами, що відбуваються біля її приймальної поверхні. Підвищення концентрації компонентів, що затримуються в примембранному шарі, так звана, концентраційна поляризація, зменшує коефіцієнт затримання та продуктивність мембрани, а під час розділення колоїдів або зависей призводить до геле- або осадкоутворення на її поверхні.

Для зниження впливу концентраційної поляризації використовують інтенсивну турбулізацію розчину над поверхнею мембрани.

Виділяють три складові потоку розчиненої речовини в примембранному шарі, який неперемішується:

1. Конвективний потік в напрямку мембрани $I_v C_s$;
2. Дифузійний потік у протилежному напрямку $D(dC_s/dx)$;
3. Потік речовини, котрий проходить крізь мембрану $I_v C_m \cdot (1 - R_n)$

В стаціонарному режимі додержується умова:

$$D(dC_s/dx) + I_v C_s - I_v C_m \cdot (1 - R_n) = 0 \quad (8.5)$$

C_s та C_m – концентрація розчину на вході та на виході мембрани, мг/дм³; R_n – дійсний коефіцієнт затримання (не ускладнений концентраційною поляризацією).

Інтегрування (6.5) та введення δ дає:

$$\frac{1-R}{R} = \left[\frac{1-R_n}{R_n} \right] \cdot \exp\left(\frac{I_v \cdot d}{D}\right) \quad (8.6)$$

δ – товщина примембранного концентраційного шару; D – коефіцієнт дифузії компонента, що відділяється.

Узагальнене рівняння, в котрому враховано обидві стадії переносу (в примембранному дифузійному шарі та мембрані) виглядає так:

$$R = 1 - \left\{ (1 + K_m - 1) \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{I_v}{D}\right) \right] \cdot \left[\exp\left(-\frac{I_v \cdot d}{D}\right) \right] \right\}^{-1} \quad (8.7)$$

d – товщина мембрани; D – коефіцієнт дифузії компонента в мембрані.

В ряді випадків для опису процесів ультра- та мікрофільтрації треба використовувати математичний апарат класичної теорії фільтрування:

$$I_r = I_0 - R_1 \cdot V \quad (8.8)$$

$$\frac{R_2 \cdot t}{2} = \frac{t}{V} - \frac{1}{I_0} \quad (8.9)$$

$$t = \frac{[\exp(R_2 \cdot V) - 1]}{R_3 \cdot I_0} \quad (8.10)$$

$$\frac{t}{V} = \frac{1}{I_0} + R_4 \cdot V \quad (8.11)$$

V – об'єм фільтрату (см³), отриманого на час τ , с; I_0 – початкова швидкість потоку, м³/м²с=м/с; R_1, R_2, R_3, R_4 – стала.

Рівняння (8.8) описує процес, за якого відбувається закупорювання кожної пори мембрани однією частинкою компонента, що затримується. Коли радіус пор мембрани суттєво перевищує розмір часток, то спочатку відбувається поступове закупорювання кожної пори багатьма дисперсними частками з переходом їх у фільтрування проміжного виду (рівняння (8.9),

(8.10)). Дисперсії, в яких розмір частинок перевищує розмір пор, утворюють на поверхні мембрани шар осаду або гелю.

Процес розділення з утворенням осаду описується рівнянням (8.11), в якому:

$$R_n = \frac{\eta \cdot r_m \cdot C_0}{2 \cdot \Delta P} \quad (8.12)$$

де η – в'язкість розчину, що фільтрується, Па·с; C_0 – концентрація в розчині дисперсної фази, мг/дм³; ΔP – перепад тиску, МПа; r_m - питомий масовий опір фільтруванню (гідродинамічний опір одиниці маси мембраноутворюючого компоненту, рівномірно розподіленого на одиниці поверхні підкладки).

Величину r_m визначають експериментально за допомогою співвідношень (8.11) та (8.12). Залежність r_m від тиску виражається наступними рівняннями:

$$r_m = r_m' \cdot (\Delta P)^{S'} \quad (8.13)$$

$$r_m = r_m'' + 2 \cdot (\Delta P)^{S''} \quad (8.14)$$

r_m' , r_m'' , S' , S'' – параметри, які визначаються експериментально.

Для кількісного опису умов утворення гелевого шару використовують модель концентраційної поляризації гелеутворення:

$$\frac{C_1}{C_0} = \exp\left(\frac{I \cdot d}{D}\right) \quad (8.15)$$

C_1 концентрації дисперсії у примембранному шарі, мг/дм³, C_0 – початкова концентрація, мг/дм³.

Гель утворюється при збільшенні концентрації дисперсії у примембранному шарі C_1 до значення концентрації гелеутворення C_d .

ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ, РЕАКТИВИ ТА МАТЕРІАЛИ

1. Ультрафільтраційна установка, об'ємом 180 см³ (мембранний фільтр), з магнітною мішалкою та системою підводу до неї стислого газу (повітря) з регулюванням тиску.
2. Технічні засоби визначення концентрації барвника (спектрофотометр, ФЕК.).
3. Ультрафільтраційні мембрани марок УПМ-20П, УАМ-500П, ПАН-10.
4. Секундомір.
5. Мірний циліндр на 25 см³.
6. Розчин барвника прямого блакитного або анілінового блакитного з концентрацією 20 мг/дм³.

ПОРЯДОК І РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ ТА ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

Визначення продуктивності мембрани по дистильованій воді

Зібрати установку (фільтр) з мембраною УПМ-20П. Заповнити установку дистильованою водою об'ємом 180 см³. Щільно загерметизувати установку, включити перемішування та подати стисле повітря під тиском $\Delta P = 0,05$ МПа. Відібрати в мірний циліндр 10 см³ фільтрату, вимірявши час відбору проби. Визначити швидкість трансмембранного потоку по формулі:

$$I = \frac{\Delta V}{p \cdot r^2 \cdot \Delta t} \quad (8.16)$$

r – радіус кола робочої поверхні мембрани; см; Δt – час відбору проби (с) об'ємом ΔV (см³).

Підвищити тиск повітря в комірці до $\Delta P = 0,1$ МПа та повторити вимірювання. Теж саме зробити при тисках $\Delta P = 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$ МПа. За результатами проведених вимірювань побудувати графік залежності I від P . Відключити подачу повітря на комірку, стравити з неї повітря,

вигвинтити запобіжний клапан, крізь відкритий отвір злити воду, що залишилась.

Визначення максимального ступеня відбору перміату

Заповнити комірку розчином барвника та підключити як і в досліді з дистильованою водою. Відбирати проби фільтрату, об'ємом 15 см³, при заданому тиску. Визначити концентрацію барвника у перміаті спектрофотометричним методом. Кількість відібраних проб становить 8.

Розрахувати ступінь затримання барвника мембраною для кожної проби за формулою.

$$R = \frac{C_{\text{поч}} - C_n}{C_{\text{поч}}} \cdot 100\% \quad (8.17)$$

$C_{\text{поч}}$, C_n - відповідно концентрації барвника в початковому розчині та перміаті, мг/дм³.

Зміни $C_{\text{поч}}$ за рахунок концентрування розчину обчислюють за формулою:

$$(C_{\text{поч}})_{i+1} = \frac{C_{\text{поч}} \cdot V_{\text{поч}} - \sum_{i=1}^n (C_n)_{iy} (V_n)_i}{V_{\text{поч}} - \sum (V_n)_i} \quad (8.18)$$

$V_{\text{поч}}$ – початковий об'єм розчину, см³; $(C_n)_i$ та $(V_n)_i$ – відповідно концентрація барвника в і-й пробі перміату та її об'єм, мг/дм³, см³.

Вилучити з установки розчин, що залишився (концентрат), визначити його об'єм та концентрацію барвника. Перевірити матеріальний баланс, враховуючи що

$$V_{\text{поч}} \cdot C_{\text{поч}} = \sum_{i=1}^n (C_n)_i (V_n)_i + V_k \cdot C_k, \quad (8.19)$$

V_k та C_k - об'єм концентрату та вміст в ньому барвника, мг/дм³, см³.

Побудувати графік залежності коефіцієнту затримання барвника в початковому розчині, користуючись співвідношенням:

$$Q = \frac{\sum_{i=1} (V_n)_i}{V_{поч}} \quad (8.20)$$

Визначити максимальний ступінь відбору перміату Q, за якого його концентрація не перевищує $C_{поч}$.

ВИСНОВКИ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №9

ВИКОРИСТАННЯ ОЗОНУВАННЯ В ПРОЦЕСАХ

ВОДОПІДГОТОВКИ

Мета роботи: вивчити процеси синтезу озону та його застосування для знебарвлення води.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Одним з найперспективніших методів знезараження домішок, які містяться в природних та стічних водах, є озонування. Озон – алотропічна модифікація кисню. Його молекула складається з трьох атомів цього елементу. Окислювальна дія озону зумовлена термодинамічною нестійкістю його молекули. Завдяки високому окислювальному потенціалу озон енергійно вступає у взаємодію з багатьма мінеральними та органічними речовинами, зокрема і з протоплазмою бактеріальних клітин. Озон, як окислювальний реагент, діє швидше хлору в 10...15 разів (окислювальний потенціал озону – 1,95 В, хлору – 1,35 В). Крім того, при озонуванні, на відміну від хлорування, у воді не утворюються токсичні хлорпохідні сполуки.

ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ, МАТЕРІАЛИ, РЕАКТИВИ

Обладнання

1. Хімічний посуд.

Прилади

1. Озонатор.
2. Компресор повітря.
3. Ротаметр.

Реактиви

1. Йодид калію, 2,5 %-й розчин.

2. Сірчана кислота, 10 %-й розчин.
3. Крохмаль, 0,5 %-й розчин.
4. Тіосульфат натрію, 0,01N розчин.
5. Барвник простий чорний, 10...50 мг/дм³.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Електросинтез озону

В основі отримання озону лежить реакція розщеплення молекули кисню на атоми під дією електричних розрядів з послідовним з'єднанням одного атому кисню з молекулою кисню:



На практиці озон отримують в спеціальних реакторах, в яких повітря з певною швидкістю пропускається між двома поверхнями, до яких підводять струм. В обробці води використовують озонатори двох типів: пластинчасті та більш перспективні трубчасті.

На рис.9.1 представлено блок-схему озонаторної установки з трубчастими електродами.

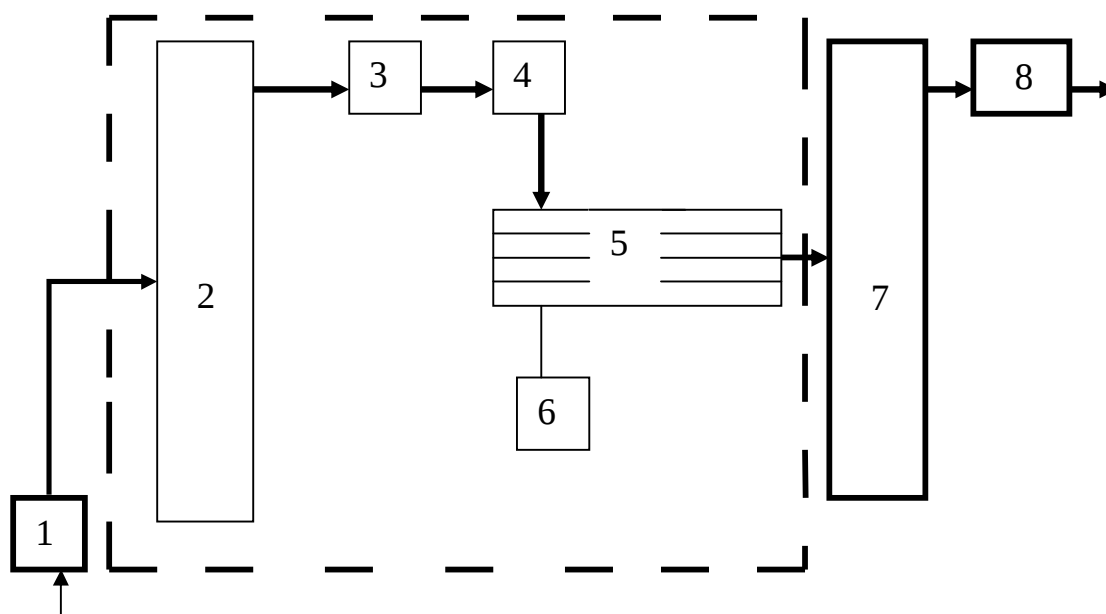


Рисунок 9.1 – Блок-схема озонаторної установки

1 – компресор; 2 – осушувач повітря; 3 – регулятор тиску; 4 – ротаметр; 5 – реактор озону; 6 – електричний блок; 7 – барботажна колона; 8 – склянка з КJ.

Компресором 1 повітря подається у заповнену силікагелем осушувач повітря 2. Регулятором тиску 3 і ротаметром 4 встановлюється необхідна витрата повітря. В реакторі 5 під дією високої напруги, яка подається від електроблоку 6, відбувається синтез озону. Озоново-повітряна суміш подається в барботажну колону 7, заповнену розчином, який досліджується. У барботажній колоні озон взаємодіє з домішками у воді, після чого відпрацьована озоново-повітряна суміш поступає в заповнений розчином йодистого калію поглинач 8, де поглинаються залишки озону, який не прореагував.

Інструкція по експлуатації озонатора

Обслуговувати озонатор належить досвідченому фахівцеві, який має групу з електробезпеки, не нижче III, добре вивчив пристрій озонатора і знає ПТЕ та ПТБ в електропристроях.

Правила техніки безпеки при роботі з озонатором

Під час обслуговування озонатору необхідно виконувати такі роботи:

1. Вимкнути озонатор з електричної мережі, лише після цього можна знімати кришки на кожусі.
2. Не стукати по озонатору при ремонті, бо так можна пошкодити електроди та ізолятори.
3. Вчасно випробувати ізоляцію відповідно вимогам ПТЕ та ПТБ електропристроїв. Опір обмоток трансформаторів НОМ-10-66 повинен бути не менше 300 МОм при температурі 20 °С.

4. Треба слідкувати за чистотою ізоляторів трансформатору НОМ-10-66 і камери озонування;

5. Не вмикати озонатор в мережу, попередньо не закривши захисні кожухи та кришки озонатору, а також не під'єднавши до контуру захисного заземлення.

6. Перед вмиканням у мережу треба використовувати діелектричний килимок, який відповідає вимогам ПТЕ та ПТБ в електричних приладах.

Підготовка до роботи

1. Упевнитися в наявності видимого заземлення озонатора.
2. Відкрити вентиль подачі води у систему охолодження озонатору і упевнитися, що вода циркулює в системі (подача води відбувається через нижній штуцер).
3. Увімкнути вилку з'єднувального шнура озонатора в мережу.
4. Повернути, натискаючи ручку автотрансформатору проти годинної стрілки.
5. Натиснути кнопку ПУСК на панелі озонатору і впевнитися, що загорілася лампочка ВМИКАТИ.
6. Поступово вводити автотрансформатор, спостерігаючи (за вольтметром) за зростанням напруги, щоб вона не перевищувала 100 В, що відповідає напрузі на електродах 10 кВ. Якщо на електродах з'являється коронний розряд, прослуховується потріскування.

Порядок роботи

Щоб отримати озон, слід подавати компресором на вхід камери озонування (через осушувальний фільтр) повітря, і на виході з камери піде озон.

Продуктивність озонатору залежить від швидкості подачі повітря на вході, якості підготовки повітря й від величини напруги на електродах.

Напругу на електродах регулюють з допомогою трансформатора, контролюють її значення вольтметром.

Не можна підвищувати напругу на електродах більше 11 кВ (про що говорить червона риска на шкалі вольтметра).

Зупинка озонатору

1. Вивести автотрансформатором напругу з електродів до нуля.
2. Вимкнути автоматичний вимикач КМ (щоб потухла лампа ВМИКАТИ).
3. Зупинити подачу повітря.
4. Перекрити воду в системі охолодження.

Характерні несправності

Несправність	Імовірна причина	Метод усунення
Коли натискаємо кнопку ПУСК не загоряється лампочка ВМИКАТИ	Перегоріла лампа або резистор РІ Вимкнутий автоматичний вимикач КМ	Замінити лампу або резистор Увімкнути автоматичний вимикач КМ
При натисненні на кнопку ПУСК загоряється лампа АВАРІЯ	Коротке замикання на електродах або на електричній схемі Несправне реле РТ-40/6	Усунути замикання Усунути несправність
При натисненні на кнопку ПУСК загоряються дві лампи ВМИКАТИ і АВАРІЯ	Не блокується пускач ПІ Вібрація контактів реле РТ-40/6	Відремонтувати магнітний пускач Відрегулювати реле струму. Установка реле повинна відповідати величині струму, який споживається.

Визначення концентрації озону в озоново-повітряній суміші

Йодометричне визначення озону базується на окисленні йодиду калію до йоду, який титрують розчином тіосульфату натрію. При використанні

розчину останнього можна визначити озон при вмісті його $0,05 \text{ мг/дм}^3$ і більше.

Методика експерименту

Вмикають компресор, встановлюють швидкість подачі повітря. Вмикають охолодження реактора електроблока, подають напругу на реактор озону. В барботажну колону заливають дистильовану воду в об'ємі 200 см^3 . Через 10 хвилин в поглинаючу склянку заливають розчин йодиду калію (80 см^3). Пропустивши озono-повітряну суміш через дистильовану воду протягом певного часу, поглинальну склянку знімають, відбирають з неї 10 см^3 розчину йодиду калію в колбу для титрування і додають 10 см^3 10 %-го розчину сірчаної кислоти. Пробу титрують $0,01\text{Н}$ розчином тіосульфату натрію до переходу кольору з буро-оранжевого до солом'яно-жовтого, додають 1 см^3 крохмалю (синій колір) і титрують до знебарвлення.

Як досліджувальний розчин використовують розчин барвника простого чорного ($10...50 \text{ мг/дм}^3$). Визначають концентрацію барвника фотометричним методом. Цей розчин в об'ємі, який дорівнює об'єму дистильованої води при визначенні концентрації озону в озono-повітряній суміші, розміщують у барботажній колоні й озонують до повного знебарвлення. В даному дослідженні використовують свіжий розчин йодиду калію (80 см^3). Після закінчення експерименту поглинаючу склянку знімають, відбирають 10 см^3 йодиду калію і титрують тіосульфатом натрію як і в попередньому дослідженні з дистильованою водою. Зливають розчин з барботажної колони і визначають залишкову концентрацію барвника

ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

Концентрацію озону в озono-повітряній суміші (мг/дм^3) розраховують по холостій пробі з дистильованою водою за формулою:

$$C_{O_3} \frac{N_T \cdot X \cdot V_{KI} \cdot 24}{W \cdot V_{PP}} \quad (9.1)$$

N_T – нормальність тіосульфату натрію (0,01 г-екв/дм³); X – об'єм 0,01Н розчину тіосульфату натрію, який пішов на титрування, см³; V_{KI} – об'єм розчин йодиду калію в поглинаючій склянці, (80 см³); W – об'єм озоново-повітряної суміші, дм³, V_{PP} – об'єм розчину йодиду калію, який був взятий для титрування, (10 см³); 24 – еквівалент озону;

Кількість озону, яку поглинає розчин барвника (мг), розраховується за формулою:

$$Q = Q_1 - Q_2 \quad (9.2)$$

Q – кількість озону, що поглинається, мг; Q_1 – кількість озону, що подається, мг; Q_2 – кількість озону у відпрацьованій озоново-повітряній суміші (проскок), мг.

Кількість озону у відпрацьованій озоново-повітряній суміші (проскок) (мг) визначають за формулою:

$$C_2 \frac{N_T \cdot X \cdot V_{KI} \cdot 24}{V_{PP}} \quad (9.3)$$

Кількість озону (мг), що подається, розраховують за формулою:

$$Q_1 = C_{O_3} \cdot P = C_{O_3} \cdot S \cdot t \quad (9.4)$$

C_{O_3} – концентрація озону у озоново-повітряній суміші, мг/дм³; P – об'єм озоново-повітряної суміші, який пішов на знебарвлення розчину, дм³; S – швидкість подачі озоново-повітряної суміші, дм³/хв; t – час знебарвлення, хв.

Зниження концентрації забруднення в досліджувальному розчині визначають за формулою:

$$\Delta C = C_{\text{поч}} - C_{\text{к}} \quad (9.5)$$

Визначивши кількість поглинутого озону і зниження концентрації забруднення в досліджувальному розчині, визначають питому витрату озону для очищення води даного складу $\text{мгO}_3/\text{мг}$:

$$e = \frac{Q}{\Delta C} \quad (9.6)$$

Ступінь знебарвлення води (%), визначають за формулою:

$$Z = \frac{C_{\text{поч}} - C_{\text{к}}}{C_{\text{поч}}} \cdot 100 \quad (9.7)$$

ВИСНОВКИ

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Беличенко Ю.П. Замкнутые системы водообеспечения химических производств. – М.: Химия, 1990. – 208 с.
2. Лившиц О.В. Справочник по водоподготовке котельных установок. – М.: Энергия, 1976. – 237 с.
3. Амиров А. Ионнообменная очистка сточных вод, растворов и газов. – Л.: Химия, 1983. – 295 с.
4. Абрамов Н.Н. Водоснабжение: Учеб. для вузов. – 3-е изд. – М.: Стройиздат, 1982. – 440 с.
5. Николадзе Г.И. Водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1989. – 496 с.
6. Бабенко Е.Д. Очистка воды коагулянтами. – М.: Наука. – 1977. – 210 с.
7. Кульский Л.А. Теоретические основы и технологии кондиционирования воды. – К.: Наук. думка, 1983. – 560 с.
8. Кульский Л.А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод. – К.: Вища шк., 1986. – 352 с.
9. Кульский Л.А. Основы химии и технологии воды. – К.: Наук. думка, 1991. – 568 с.
10. Руденко Г.Г., Гороновский И.Т. Удаление примесей из природных вод на водопроводных станциях. – К.: Будівельник, 1976. – 205 с.

ЗМІСТ

Передмова.....	3
Лабораторна робота №1. Вивчення процесу коагуляції.....	4
Лабораторна робота №2. Визначення динамічної та характеристичної в'язкості флокулянту.....	16
Лабораторна робота №3. Визначення молекулярної маси флокулянтів.....	23
Лабораторна робота №4. Освітлення води при використанні флокулянтів.....	31
Лабораторна робота №5. Дослідження процесу освітлення водних суспензій на насипних механічних фільтрах.....	36
Лабораторна робота №6. Реагентне пом'якшення води.....	48
Лабораторна робота №7. Адсорбція органічної речовини вугіллям в статичних умовах.....	54
Лабораторна робота №8. Очищення стічних вод баромембранним методом.....	58
Лабораторна робота №9. Використання озонування в процесах водопідготовки.....	65
Список рекомендованої літератури.....	73

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

**Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”**

**Іваненко Олена Іванівна
Шаблій Тетяна Олександрівна
Носачова Юлія Вікторівна**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З КУРСУ**

«Технологія очищення води»

**для студентів напряму підготовки 6.051301
“Хімічна технологія”**

**Рекомендовано Вченою радою
інженерно-хімічного факультету НТУУ «КПІ»
протокол № 9 від 26 жовтня 2012 р.**

**Віддруковано ТОВ „Інфодрук”
03113, м.Київ, вул.М. Шпака, 2, тел. 456-68-83
Підписано до друку 03.10.2012 р.
Тираж 100 прим.**