

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства та  
природокористування

Кафедра водопостачання, водовідведення та бурової  
справи

**03-06-140М**

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни  
«Інноваційні технології водовідведення промислових  
підприємств курсовим проєктом» для здобувачів вищої  
освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-  
професійною програмою «Водопостачання та  
водовідведення» спеціальності 192 «Будівництво та  
цивільна інженерія» усіх форм навчання

Рекомендовано науково-  
методичною радою з якості  
Навчально-наукового інституту  
будівництва та архітектури  
Протокол № 1 від 29.08.2023 р.

Рівне – 2023

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Інноваційні технології водовідведення промислових підприємств з курсовим проєктом» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Водопостачання та водовідведення» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» усіх форм навчання [Електронне видання] / Ковальчук В. А.– Рівне : НУВГП, 2023. – 30 с.

Укладач: Ковальчук В. А., д.т.н., професор, професор кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи.

Відповідальний за випуск – Мартинов С. Ю., д.т.н., професор, завідувач кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи.

Голова науково-методичної ради з якості ННІБА: Макаренко Р. М., к.т.н., професор

## ЗМІСТ

Вступ .....	3
Лабораторна робота №1. Напірна флотація .....	3
Лабораторна робота №2. Електрофлотація, електрокоагуляція-флотація .....	13
Лабораторна робота №3. Адсорбція .....	20
Лабораторна робота №4. Зневоднення осаду фільтр-пресуванням .....	24
Література .....	30

© В. А. Ковальчук, 2023  
© НУВГП, 2023

## ВСТУП

Лабораторні роботи проводяться із метою закріплення теоретичних знань та набуття практичних навичок дослідницької роботи здобувачами вищої освіти з дисципліни «Інноваційні технології водовідведення промислових підприємств з курсовим проектом»

Для підготовки до їх виконання здобувачеві необхідно вивчити відповідні розділи рекомендованої навчальної літератури та ці методичні вказівки.

Лабораторні роботи проводяться на базі лабораторії кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи.

За результатами виконаних лабораторних робіт здобувачі вищої освіти складають звіт, в якому коротко описують хід роботи, наводять усі необхідні розрахунки, замальовують установки, роблять власні висновки. Звіт є основним документом, який дає можливість перевірити отримані результати, тому звіти мають бути чіткими і лаконічними.

### Лабораторна робота №1.

#### НАПІРНА ФЛОТАЦІЯ

Мета лабораторної роботи: визначення та аналіз основних параметрів процесу напірної флотації: ефективності процесу видалення дисперсних домішок, питомої витрати повітря, характеру ущільнення шламу, вологості шламу.

Матеріальне забезпечення:

- компресор;
- напірний резервуар ємністю 1,0 дм<sup>3</sup>;
- апарат для струшування;
- сушильна шафа;
- фарфорові чашки;
- сифонна трубка;
- секундомір;

- терези лабораторні з похибкою зважування 0,0002 г;
- посуд мірний лабораторний скляний: циліндри місткістю 50 см<sup>3</sup>, 100 см<sup>3</sup>, 500 см<sup>3</sup>.
- колби з активним мулом з аеротенків споруд біологічного очищення стічних вод використовують для дослідження.

### **Методичні вказівки**

Напірна флотація застосовується для вилучення із стічних вод грубодисперсних завислих речовин, емульгованих нафтопродуктів, жирів, смол та розчинних молекул органічних сполук, іонів металів тощо забруднень у шламовий шар. Спосіб ґрунтується на утворенні флотаційно-активних комплексів часток забруднень із мікробульбашками повітря. Дрібні (20-100 мкм) бульбашки виділяються з розчину завдяки зменшенню розчинності газів повітря у воді при зменшенні тиску. вода насичується повітрям при підвищеному тиску при зменшенні тиску до атмосферного розчин повітря у стічній воді перетворюється у перенасичений і понаднормового розчиняє повітряного розчинене повітря виділяється з розчину у молекулярному вигляді молекули повітря утворюють мікробульбашки які мають велику сумарну поверхню що до неї можуть прилипати забруднення та відносно невисоку швидкість спливання яка забезпечена тривалістю контактами з часткою та бульбашкою кількість розчиненого повітря і розмір бульбашок можна регулювати шляхом зміни тиску і тривалості насичення. Практично напірну флотацію здійснюють подаючи стічні води флотаційну камеру насосом через резервуар в якому відбувається розчинення повітря у воді під тиском.

Головними елементами установки напірної флотації (рис. 1) є: флотаційний насос; напірний бак; редуційний клапан; ротаметр для відбору і регулювання повітря; власне флотаційна камера; пристрої для видалення осаду і флотошламу.

Схема напірної флотаційної установки.

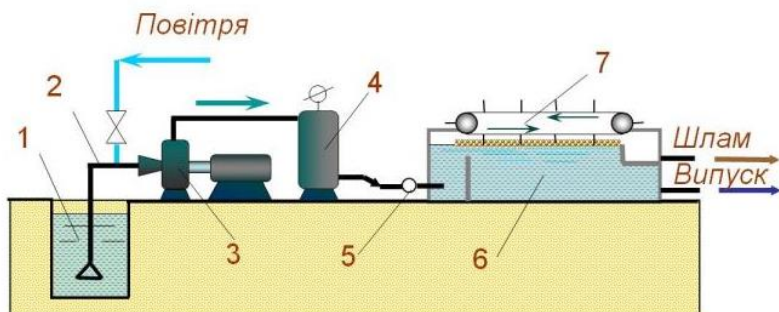


Рис. 1. 1- стічні води; 2 – всмоктувальний трубопровід; 3 – флотаційний насос; 4 – напірний бак; 5 – редукційний клапан; 6 – флотаційна камера

Флотаційні камери можуть мати зазвичай прямокутну, або круглу у плані форму (рис. 2). Кругла форма флотаційної камери дає можливість відносно легко прибирати флотошлам з поверхні (рис. 3) за допомогою радіальних скребоків, а також видаляти осад з конічного дна під гідростатичним тиском. Флотошлам може бути досить густим, що може регулюватись частотою його видалення з флотаційної камери.

Насичення робочої рідини (очищеної стічної води) повітрям здійснюється у напірному баку (рис. 4). Він обладнується вентилям для періодичного скидання нерозчиненого повітря, осаду, редукційним клапаном. Напірний бак влаштовується похило для покращання відділення повітря і осаду. До і після напірного баку встановлюються манометри для регулювання у ньому тиску.

Подача в напірний бак повітря здійснюється за допомогою водовітряного ежектора, що встановлюється на перемичці між всмоктуючим і напірним патрубками флотаційного насоса. Регулювання витрати повітря, що подається в напірний бак, здійснюється зазвичай за допомогою ротаметра.



Рис. 2. Кругла у плані флотаційна камера



Рис. 3 Прибирання флотошламу з поверхні флотаційної камери за допомогою радіальних скребоків

Флотаційна камера обслуговується оператором, який слідкує за надходженням у флотаційну камеру очищуваних стічних вод, періодично вмикає скребок для видалення флотошламу, підтримує необхідний тиск у напірному баку за допомогою редукційного клапана, скидає з напірного бака надлишок повітря і осад.



Рис. 4. Напірний бак



Рис. 5. Ротаметр для регулювання витрати повітря

### Порядок та хід визначення

1. Активний мул відбирають на вході в регенератор аеротенка очисних споруд та привозять у лабораторію.

2. Перед початком досліджень визначають концентрацію сухої речовини в мулі *Сен* (завислі речовини), враховуючи, що вміст сухої речовини в мулі має величину порядку кількох грамів на дециметр кубічний об'єму проби. Об'єм проби для визначення завислих речовин може бути зменшений до 100 см<sup>3</sup>. Визначення проводять за стандартною методикою: фільтрування через попередньо зважений у бюксі після висушування фільтр, висушування фільтра при температурі 105° С до сталої маси, зважування фільтра з осадом у бюксі.

3. Відбирають  $V = 250$  см<sup>3</sup> активного мулу до циліндра, враховуючи, що концентрація завислих речовин зазвичай перевищує 3 г на дм<sup>3</sup>, застосовують схему напірної флотації з рециркуляцією робочої рідини. Коефіцієнт циркуляції приймають рівним 1-2, залежно від концентрації мулу.

4. Для рециркуляції використовують водопровідну воду, попередньо насичену повітрям. Для цього заливають приблизно 500 см<sup>3</sup> води до напірного резервуара, приєднують компресорну установку та подають повітря. Для інтенсифікації розчинення повітря переміщують вміст напірного резервуару шляхом струшування протягом не менше ніж 2 хвилин.

5. Заміряють тиск повітря  $P$ , МПА, і тривалість насичення води  $t_n$ .

6. Додають до активного мулу в циліндр насичену повітрям воду в кількості

$V_r$ , см<sup>3</sup>, яка відповідає прийнятому коефіцієнту рециркуляції.

7. Швидко перемішують вміст циліндра і залишають його у спокої. Проводять спостереження, стежачи за часом фіксують момент коли суміш почне



розділятися (рис. 6) з утворенням шару шламу та освітленої води. Записують інтервали часу від початку розділення та об'єм шламу в шламу сантиметрах кубічних протягом 30 хвилин. Рекомендовано виконувати вимірювання по мірі зменшення об'єму шламу на 5-10 см<sup>3</sup>. Описують вхід процесу флотаційного розділення (зміна прозорості освітленої води, швидкості підйому шламу тощо). Будують графік в координатах  $V_{sl}$  шламу, см<sup>3</sup> (ордината),  $t$ , хв (абсциса). 8. відбирають освітлену воду за допомогою сифонної трубки та визначають мій міст завислих речовин  $Sep$ . Об'єм проби для аналізу на менше 250 см<sup>3</sup>.

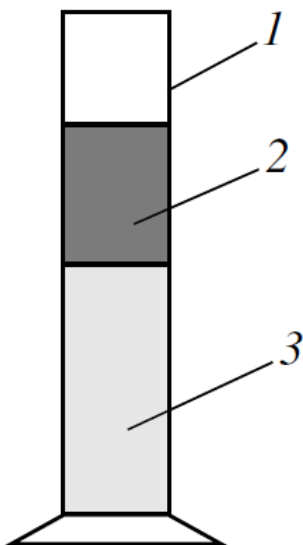


Рис. 6. Схема розділення суміші активного мулу з водою, насиченою повітрям: 1 – циліндр; 2 – шлам; 3 – освітлена вода

8. Відбирають пробу шламу для аналізу вологості в попередньо зважену висушену чашку. Методика визначення вологості стандартна шляхом висушування проби й шламу при 105° С та зважування чашки з вологою та висушеною пробую.

## Обробка результатів

### Визначення ефективності очищення напірною флотацією

1. Визначення концентрації завислих речовин у активному мулі  $C_{en}$  та в освітленій рідині  $C_{ex}$  проводять за формулою

$$C_{зр} = \frac{m_{вф} - m_{чф}}{V_{пр}} \cdot 1000, \text{ г/л} \quad (1.1)$$

де  $m_{вф}$ ,  $m_{чф}$ , – маса висушеного фільтра у бюксі, відповідно, з осадом та чистого, г;  $V_{пр}$  – об'єм проби, мл.

2. Концентрація завислих речовин суміші активного мулу та насиченої повітрям води при величині коефіцієнта рециркуляції  $R = Vr / V$ :

$$C_{\phi} = \frac{C_{en} + R \cdot C_r}{1 + R}, \text{ г/л} \quad (1.2)$$

де  $C_{en}$ ,  $C_r$  – концентрація завислих речовин, відповідно, у активному мулі та рециркуляційній воді (вважаємо, що  $C_r = 0$  г/л).

3. Ефективність освітлення при концентрації завислих речовин у освітленій воді  $C_{ex}$ :

$$E = \frac{C_{\phi} - C_{ex}}{C_{\phi}}. \quad (1.3)$$

### **Визначення питомої витрати повітря**

1. Загальна маса сухої речовини активного мулу, яка надійшла на флотацію, г:

$$M_{en} = C_{en} \cdot V. \quad (1.4)$$

2. Маса сухої речовини активного мулу у освітленій рідині, г:

$$M_{ex} = C_{ex} (V \cdot (1+R) - V_{шл}). \quad (1.5)$$

3. Маса сухої речовини активного мулу у шламi (розрахункова):

$$M_{шл} = M_{en} - M_{ex}, \text{ г.} \quad (1.6)$$

4. Концентрацію повітря у воді,  $C_{air}$ , мл/л, відповідно до параметрів  $P_n$ ,  $t_n$  насичення, визначають за графіком (рис.7, [1]).

5. Витрата повітря на процес, мл:

$$Q_{air} = C_{air} \cdot V_r, \quad (1.7)$$

$V_r$  – витрата води на рециркуляцію, л.

6. Питома витрата повітря на 1 г вилученої сухої речовини мулу, мл/г:

$$u = \frac{Q_{air}}{M_{шл}}. \quad (1.8)$$

7. Порівнюють отримане значення з рекомендованим (рис.1.3, [1]) при  $C_{ф}$ .

### **Визначення вологості шламу та ефективності ущільнення мулу**

1. Вологість шламу після 30-хвилинного накопичення, розрахункова (в долях одиниці):

$$W_{шл} = \frac{V_{шл} \cdot \rho - M_{шл}}{V_{шл} \cdot \rho}, \quad (1.9)$$

де  $\rho = 1,0$  г/мл – густина шламу.

2. Вологість шламу після 30-хвилинного накопичення, експериментальна (в долях одиниці):

$$W_{шл} = \frac{m_{шл} - m_{сух}}{m_{шл} - m_{чч}}, \quad (1.10)$$

де  $m_{чч}$ ,  $m_{шл}$ ,  $m_{сух}$  – маси чашок, відповідно, чистої, з вологим шламом і висушеним до постійної маси шламом, г.

3. Вологість шламу за емпіричною формулою (в долях одиниці):

$$W_{шл} = 0,985 - 0,005 C_{ф}. \quad (1.11)$$

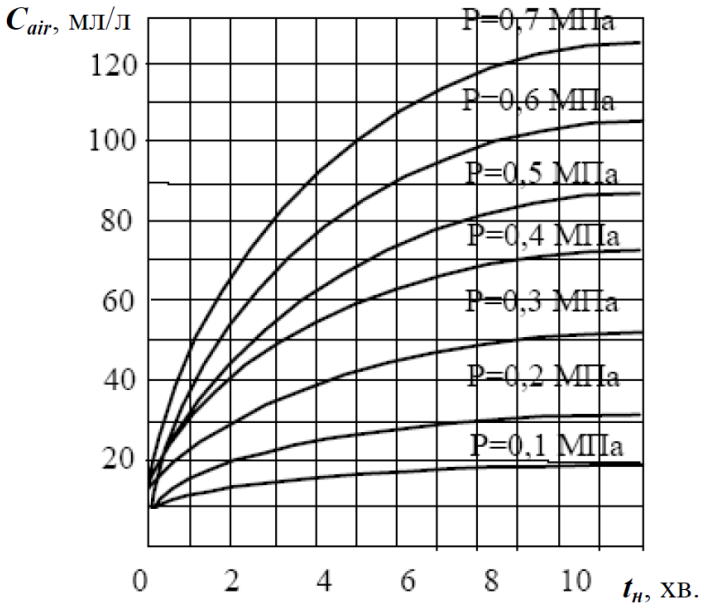


Рис. 7. Розчинність повітря у залежності від тиску і тривалості насичення

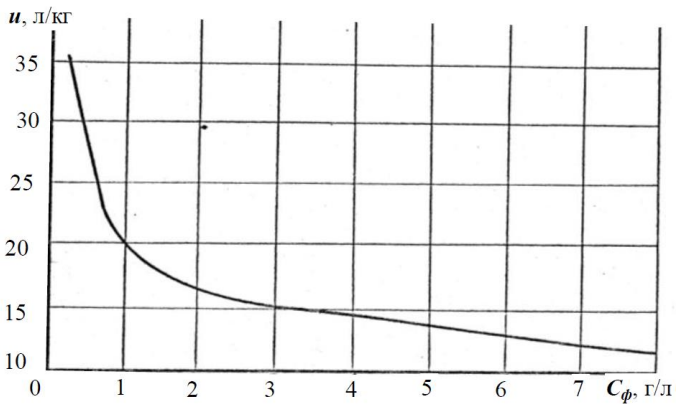


Рис. 8. Залежність між концентрацією нерозчинених домішок і питомою витратою повітря

4. Порівнюють отримані значення вологості розрахункової, визначеної лабораторним аналізом та за емпіричною формулою.

5. Ефективність ущільнення мулу  $E_{ущ.}$  визначають за формулою:

$$E_{ущ.} = \frac{V + V_r}{V_{шл}} . \quad (1.12)$$

### **Висновки по роботі**

Записують основні результати роботи: параметри процесу напірної флотації, його ефективність, порівняння результатів, отриманих за різними методиками.

### *Лабораторна робота №2.*

## **ЕЛЕКТРОФЛОТАЦІЯ, ЕЛЕКТРОКОАГУЛЯЦІЯ-ФЛОТАЦІЯ**

**Мета лабораторної роботи:** визначення та аналіз основних параметрів процесу електрокоагуляції: ефективності процесу, сили і щільності струму, напруги, питомої витрати металу електродів, питомої витрати електроенергії. Дослідження проводиться на модельних розчинах стічної води.

### **Матеріальне забезпечення:**

- модель камери електрокоагуляції-флотації із пластику (рис.2.1);
- катодно-анодна система з алюмінієвих пластин;
- випрямляч струму;
- амперметр та вольтметр;
- фотоелектроколориметр;
- секундомір;
- *посуд мірний лабораторний скляний:* циліндри місткістю 100см<sup>3</sup>, 500см<sup>3</sup>;
- колби конічні скляні лабораторні місткістю 250см<sup>3</sup>;

- скляна палка для перемішування;
- скляні бюкси;
- фарфорові чашки;
- сушильна шафа;
- терези лабораторні з похибкою зважування 0,0002г.

**Реактиви:**

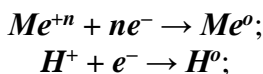
- *модельний розчин* (розчин барвника кислого коричневого кольору).

**Методичні вказівки**

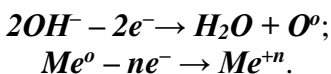
*Метод електрокоагуляції-флотації* застосовують для очищення стічних вод від дисперсних (суспензії, емульсії), колоїдних та розчинних (іони) забруднень. Видалення забруднень відбувається при дії електричного струму, завдяки чому при електролізі утворюються іони коагулюючого металу та бульбашки газів. В окремих випадках (емульсовані забруднення стічних вод нафтопереробних заводів, стоки паперових фабрик) можливий процес електрофлотації з нерозчинними електродами.

В процесі електролізу неупорядкований рух іонів перетворюється на спрямований: катіони рухаються до катоду, аніони – до аноду.

Внаслідок відновлення іонів *на катоді* відбувається виділення з розчину металів і атомів водню:



*на аноді* – виділення атомів кисню, розчинення металу аноду:



Витрата електроенергії для очищення стічних вод електро-коагуляцією-флотацією залежить від напруги електролізу, яка зменшується при зниженні потенціалу розкладання та збільшенні електропровідності електроліту. Електричні параметри процесу (значення еквівалентної витрати струму  $D$ , сили струму  $I$ , питомої витрати електроенергії  $De$ , густини струму  $i$ , напруги електролізу  $U$ ) залежать від матеріалу електродів, виду, кількості і властивостей забруднень і визначаються експериментально.

### **Описання лабораторної установки та принцип визначення**

Схема установки наведена на рис. 9. Основним елементом установки є двокамерний блок електрокоагуляції-флотації, який складається з камер електролізу та флотаційного розділення. У камері електролізу встановлений пакет з 8 алюмінієвих пластин, які приєднані до джерела постійного струму. Відстань між пластинами фіксована. Величина струму вимірюється амперметром, напруга – вольтметром. Витрату води, яка проходить через камеру флотації, вимірюють об'ємним способом мірним циліндром, час – секундоміром. Якісні показники модельної рідини визначають через оптичну проникність та щільність світлового потоку на фотоелектроколориметрі.

В якості забруднювача модельної стічної води використовують розчин барвника прямого коричневого кислого, який широко застосовують у текстильній промисловості.

Барвник сорбується на пластівцях коагулянту, які утворюються при електролітичному розчиненні алюмінієвих електродів. Бульбашки газів, які утворюються біля обох електродів (водень, кисень тощо), сприяють спливанню (флотації) пластівців разом із забруднювачем.

Таблиця 2.1

Розміри камер електролізу, флотації, пакету електродів

Параметри	Камера електролізу	Камера флотації	Пакет електродів
Розміри $b \times l$ , см	у плані	у плані	l електроду
Висота (товщина), см	до рівня води	до рівня води	$p, l$ електроду
Площа поверхні, см <sup>2</sup>	водної поверхні		$f, l$ електроду
Об'єм, см <sup>3</sup>	$V_e$ , води	$V_f$ , води	пакету

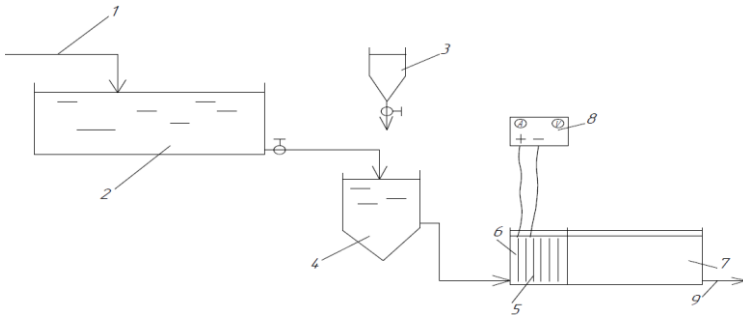


Рис. 9. Схема лабораторної установки електрокоагуляції-флотації:

**1** – подача водопровідної води; **2** – регулююча місткість; **3** – місткість із концентрованим розчином; **4** – змішувач для приготування модельної стічної води; **5** – пакет електродів; **6** – камера електрокоагуляції; **7** – камера флотації; **8** – випрямляч; **9** – відведення очищеної води.

### Порядок та хід визначення

1. *Встановлюють електродну систему*, заповнюють модельним розчином камери електролізу та флотації, закривають кран подачі води. Установка готова до роботи.

2. *Вмикають випрямляч струму*, встановлюють потрібну величину  $I$  струму (2...5 А), відкривають запірний кран подачі води, регулюючи ним величину витрати, яка надходить в установку.



3. *Проводять спостереження процесу:* появу пластивців гідроксиду алюмінію, бульбашок газів у камері електролізу, переливання води до камери флотації, підйом флотоагрегатів, утворення шламового шару, його забарвлення, освітлення води під шаром шламу.

4. *Визначають витрату води*, яку очищають. Для цього замірюють час  $t$ , протягом якого у циліндрі набереться  $V=500\text{мл} = 0,5\text{л}$  очищеної води з відповідного патрубка. Вимірювання повторюють тричі та визначають середнє значення  $t_{mid}$ , с. Витрату визначають за формулою

$$q = \frac{V}{t_{mid}} \cdot 60, \text{ л/хв.} \quad (2.1)$$

5. *Вимірюють величини сили струму  $I$  та напруги  $U$*  електролізу.

6. *Вимірюють оптичну проникність  $T$*  розчину, %, до і після очищення (відповідно  $T_{en}$  та  $T_{ex}$ ) фотоелектроколориметром. Кількість паралельних вимірювань – не менше трьох. Визначають їх середні значення, відповідно  $T_{enmid}$  та  $T_{exmid}$ .

7. *Вимірюють висоту шару шламу  $h_{шл}$* , дм, та *відбирають пробу шламу* для визначення його вологості  $W_{шл}$  після завершення процесу електрокоагуляції-флотації (тривалість до 60 хв).

### **Обробка результатів**

#### **Визначення параметрів роботи установки електрокоагуляції-флотації**

За результатами вимірювань *визначають такі параметри роботи установки електрокоагуляції-флотації:*

1. *Тривалість перебування рідини в камері електролізу* (рекомендовано до 15 хв.):

$$t_e = \frac{V_e}{q} 10^{-3}, \text{ хв.} \quad (2.2)$$

2. Тривалість перебування рідини в камері флотації (рекомендовано 20...45 хв.):

$$t_{\delta} = \frac{V_{\delta}}{q} 10^{-3}, \text{ хв.} \quad (2.3)$$

3. Горизонтальна швидкість руху води в камері флотації (рекомендовано до 5 мм/с), розміри камери - м: Н, В

$$v_{\delta} = \frac{q}{B_{\delta} \cdot H_{\delta} \cdot 60}, \text{ мм/с.} \quad (2.4)$$

4. Швидкість руху води  $v_e$  в міжелектродному просторі (має бути в межах 2...5 мм/с), розміри - м: р, L, В

$$v_e = \frac{q}{60L_e(B_e - N \cdot p)}, \text{ мм/с.} \quad (2.5)$$

5. Активна поверхня  $S$  електродної системи, яка складається з  $N$  пластин, поверхня кожної з яких  $f$ :

$$S = f \cdot (N - 1), \text{ см}^2. \quad (2.6)$$

Тут врахована поляризація обох поверхонь пластин електродів, за винятком крайніх, тобто кількість поверхонь одного знаку заряду.

6. Густина струму на електродах:

$$i = \frac{I}{S} 10^4, \text{ А/м}^2. \quad (2.7)$$

7. Питома витрата струму на обробку води:

$$D = \frac{I}{3,6q}, \text{ А-год/м}^3. \quad (2.8)$$

8. Питома витрата електроенергії

$$D_e = \frac{D \cdot U}{1000}, \text{ кВт-год/м}^3. \quad (2.9)$$

9. *Добова витрата електроенергії* на здійснення процесу:

$$Q_{\text{доб}}^e = \frac{24 \cdot I \cdot U}{1000}, \text{ кВт-год/добу.} \quad (2.10)$$

10. *Питома витрата металу електродів, які розчиняються*

$$m_e = \frac{K_I \cdot A \cdot I}{q} = K_I \cdot A \cdot D, \text{ г/м}^3. \quad (2.11)$$

де  $K_I$  – коефіцієнт виходу за струмом, який залежить від складу електроліту, матеріалу електроду і визначається експериментально (можна приймати значення  $K_I=0,5\dots0,95$ );

$A$  – електрохімічний еквівалент металу електроду, становить для заліза ( $\text{Fe}^{2+}$ )  $A = 1,042$  г/А·год, заліза ( $\text{Fe}^{3+}$ )  $A = 0,695$  г/А·год, алюмінію ( $\text{Al}^{3+}$ )  $A = 0,336$  г/А·год.

11. *Маса металу електродної системи* установки, яка може бути використана при електрокоагуляції (розміри електродної системи:  $f$  – м<sup>2</sup>,  $p$  – м

$$M_e = (f \cdot p \cdot N) \gamma \cdot K_b, \text{ кг,} \quad (2.12)$$

де  $\gamma$  – об'ємна маса металу електродної системи (заліза – 7860кг/м<sup>3</sup>, алюмінію – 2580кг/м<sup>3</sup>);

$K_b$  – коефіцієнт використання матеріалу електроду, 0,8...0,9;

11. *Тривалість роботи електродної системи* при робочій витраті води:

$$T_e = \frac{M_e \cdot 10^6}{q \cdot m_e}, \text{ год.} \quad (2.13)$$

#### **Визначення ефективності знебарвлення модельного розчину**

Ступінь зростання оптичної проникності еквівалентний ефективності знебарвлення розчину:

$$E = \frac{T_{ex}^{mid} - T_{en}^{mid}}{T_{en}^{mid}}. \quad (2.14)$$

**Визначення навантаження шламу на одиницю водної поверхні камери флотації**

1. Вологість  $W_{шл}$  шламу визначають за стандартною методикою (див. лабораторну роботу № 1).

2. Визначають навантаження  $q_{сух}$  за сухою речовиною  $т_{сух}$  шламу на одиницю водної поверхні камери флотації, кг/дм<sup>2</sup>:

$$q_{сух} = \frac{m_{сух}}{V_{ф} \cdot L_{ф}} = \frac{h_{шл} \cdot V_{ф} \cdot L_{ф} (1 - W_{шл})}{V_{ф} \cdot L_{ф}} \cdot \gamma_{шл} = h_{шл} \cdot (1 - W_{шл}) \cdot \gamma_{шл}, \quad (2.15)$$

де  $\gamma_{шл}$  – об'ємна маса сухої речовини шламу, 1,1 кг/л.

**Висновки по роботі**

Записують основні результати роботи: параметри роботи установки електрокоагуляції-флотації та ефективність очищення.

**Лабораторна робота №3.**

**АДСОРБЦІЯ**

**Мета лабораторної роботи:** визначення та аналіз основних параметрів процесу адсорбції: ефективності процесу при різних способах його організації, питомої витрати (дозы) адсорбенту.

**Матеріальне забезпечення:**

- фотоелектроколориметр;
- терези лабораторні з похибкою зважування 0,0002г;
- посуд мірний лабораторний скляний: циліндри місткістю 100см<sup>3</sup>, 1000см<sup>3</sup>;
- колби конічні скляні лабораторні місткістю 250см<sup>3</sup>;
- лійки скляні для фільтрування;
- скляні палки для перемішування;

- паперові фільтри (синя стрічка);
- вагові скляні бюкси.

**Реактиви:**

- *модельний розчин* (розчин барвника коричневого кольору кислого);
- адсорбент (активоване вугілля марки АК-3).

**Методичні вказівки**

*Адсорбцію* використовують для глибокого очищення води від молекул розчинених органічних та неорганічних сполук, газів тощо. Найбільш розповсюдженими серед промислових адсорбентів є активоване вугілля, силікагелі, використовують також каолін, тирсу, торф.

Найпростішим способом реалізації адсорбції є одноступеневий статичний процес, який реалізується змішуванням води з адсорбентом із наступним відокремленням (відстоюванням, фільтруванням) відпрацьованого адсорбенту. Більш ефективно використання адсорбенту досягається багатоступеневою статичною сорбцією, яка втілюється за кількома схемами. У схемі з послідовним введенням адсорбенту очищувана вода рухається від першого до наступних ступенів, а свіжий сорбент вводиться на кожний ступінь як частка від загальної його витрати. У схемі з протитечею адсорбенту свіжий адсорбент вводять лише на останній ступінь, куди надходить найбільш очищена вода. Відпрацьований сорбент із наступного ступеня перекачується на попередній. Інший спосіб - динамічна адсорбція, - це процес фільтрування через нерухомий або рухомий шар адсорбенту.

**Хід визначення**

1. *Готують концентрований розчин барвника*, регулюють постійну подачу його до водопровідної води,

щоб концентрація барвника у модельному розчині була постійною.

## *2. Попереднє визначення дози адсорбенту:*

- відбирають пробу  $V = 100$  мл у три циліндри. Виходячи із звичайних доз адсорбенту в межах 10...100 мг/л, вносять до циліндрів  $m = 1,0$  мг, 5,0 мг, 10,0 мг, що відповідає дозі адсорбенту, відповідно,  $d = 10, 50, 100$  мг/л;

- вміст кожного циліндра ретельно перемішують протягом не менш, як двох хвилин, після чого залишають у спокої на 15..20 хвилин для візуального спостереження;

- за результатами попереднього дослідження визначають ту дозу адсорбенту, при якій візуально отримано найкращий результат: знебарвлення, відділення сорбенту.

3. *Визначають оптичну проникність  $T_0$  та щільність світлового потоку  $D_0$  для фільтрату забрудненої забарвленої води перед початком основного дослідження за допомогою фотоелектро-колориметра. Оптична щільність – це десятковий логарифм величини, оберненої до оптичної проникності (прозорості).*

## *4. Дослідження процесу адсорбції барвника:*

- приймають орієнтовну основну дозу, а також по три дози, менші від основної на 25-50 мг/л та більші, тобто разом сім дослідів;

- до проби води 100 мл в кожний з семи циліндрів додають відповідну дозу адсорбенту, ретельно перемішують, відстоюють протягом 30 хвилин, спостерігаючи та описуючи явища, які відбуваються, та порівнюють їх;

- після відстоювання відфільтровують вміст кожного циліндра через паперовий фільтр та колориметрують, записуючи в таблицю результати (див. табл.3.1).

Таблиця 3.1

№№ цилін- дра	Маса сорбенту, <i>m</i> , мг	Питома витрата сорбенту <i>d</i> , мг/л	Оптична проникність <i>T</i> , %	Оптична щільність <i>D</i>	Ефектив- ність зне- барвлення <i>E</i>
1	2	3	4	5	6

### 5. Дослідження 3-ступеневої послідовної адсорбції:

- ділимо основну дозу на три однакові частини;
- додають до 1-го циліндра першу дозу сорбенту та перемішують із модельним розчином;
- після відстоювання та очищення додають у другий циліндр попередньо очищену воду з першого циліндра та перемішують із другою дозою сорбенту і т.д.;
- після відстоювання у третьому циліндрі, відфільтровують його вміст через паперовий фільтр та колориметрують і визначають оптичну проникність ***TIII*** та щільність ***DIII***.

### Обробка результатів

1. *Питому витрату (дозу) адсорбенту *d** визначають за формулою:

$$d = \frac{m \cdot 1000}{V}, \text{ мг/л.} \quad (3.1)$$

2. *Будують графіки залежності оптичної проникності *T* та оптичної щільності *D* від дози *d* адсорбенту.*

3. *Визначають ефективність *E<sub>i</sub>* знебарвлення модельного розчину за інтенсивністю зростання оптичної проникності *T<sub>i</sub>* *i*-го дослідження порівняно з початковим значенням *T<sub>0</sub>* для неочищеного розчину:*

$$E_i = \frac{T_i - T_0}{T_0}. \quad (3.2)$$

Записують результати в табл. 3.1.

4. Будують графіки залежності ефективності  $E_i$  знебарвлення від дози  $d$  адсорбенту.

5. На підставі аналізу отриманих результатів роблять висновок про оптимальне значення дози адсорбенту для знебарвлення модельного розчину стічних вод.

6. Визначають ефективність  $E_i$  знебарвлення модельного розчину при переході від 1-ступеневої до 3-ступеневої послідовної адсорбції шляхом порівняння величин оптичних проникностей, відповідно  $T^I$  та  $T^{III}$ :

$$E_i = \frac{T^{III} - T^I}{T^I} . \quad (3.3)$$

### **Висновки по роботі**

Записують основні результати роботи: оптимальну дозу адсорбенту; порівняння результатів, отриманих при знебарвленні розчину різними дозами адсорбенту та застосуванні трьох- ступеневої послідовної адсорбції.

### **Лабораторна робота №4.**

## **ЗНЕВОДНЕННЯ ОСАДУ ФІЛЬТР-ПРЕСУВАННЯМ**

**Мета лабораторної роботи:** визначення та аналіз основних параметрів зневоднення осаду на фільтр-пресах: питомого опору осаду та фільтрувальної перегородки, питомого навантаження на одиницю поверхні фільтрування, ефективності зневоднення.

### **Матеріальне забезпечення:**

- модель фільтр-пресу;
- стенд для закріплення фільтр-пресу;
- компресор;
- сушильна шафа;
- секундомір;
- фарфорові чашки;



• терези лабораторні з похибкою зважування 0,0002 Г;

• *посуд мірний лабораторний скляний*: циліндри місткістю 50см<sup>3</sup>, 100см<sup>3</sup>, 500см<sup>3</sup>;

• скляна палка для перемішування.

**Реактиви:**

для дослідження використовують *глиняну суспензію*.

**Методичні вказівки**

Фільтр-пресування застосовується в практиці зневоднення осадів стічних вод. Метод полягає у фільтруванні осаду через тонку тканинну перегородку при підвищеному тиску, який може створюватись шляхом нагнітання у герметичну камеру води або повітря. Фільтр-пресування дозволяє знизити вологість осаду до 65...70% та отримати фільтрат із невисоким ступенем забруднення грубодисперсними домішками (до 100...200 мг/л). Конструктивно процес реалізується у рамних та камерних фільтр-пресах.

**Описання лабораторної установки**

Лабораторна установка складається з модельного фільтр-преса та компресора. Модель фільтр-преса складається з трьох камер (рис.4.1). Центральна камера 2 через фільтрувальні перегородки 3 сполучена з крайніми камерами 4, в яких збирається фільтрат. Перегородки оснащені фільтруючим матеріалом – корд щільного плетіння. Осад розміщують в центральній камері, куди під'єднують трубопровід стисненого повітря від компресора. Рідина витискується з осаду і через фільтрувальні перегородки потрапляє до крайніх камер, звідки і відводиться.

**Хід визначення**

1. Перед початком дослідження *визначають густину осаду*, який зневоднюють. Для цього відбирають у

попередньо зважену градуйовану хімічну склянку  $V_1$  мл осаду та визначають його масу  $m_1$ , г, (як різницю між масою склянки з осадом та порожньої склянки).

2. *Визначають вологість осаду перед зневодненням.* Методика визначення вологості описана у лабораторній роботі 1.

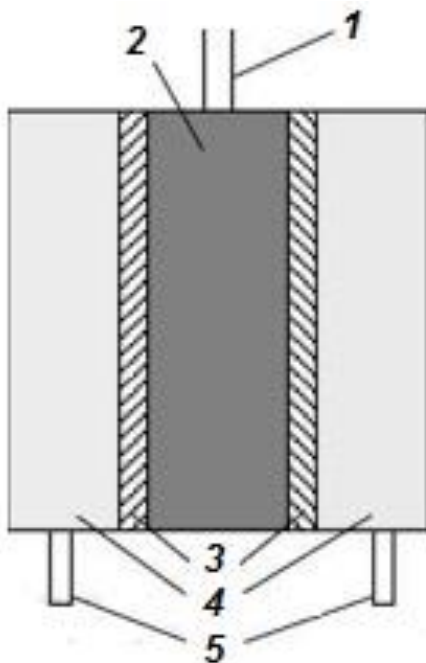


Рис. 10. 1 – приєднання компресора; 2 – центральна камера; 3 – фільтрувальні перегородки; 4 – крайні камери; 5 – відведення фільтрату

3. *Замірюють розміри фільтрувальних перегородок та визначаємо їхню сумарну площу,  $S$ , см<sup>2</sup>.*

4. Відбирають  $m_o$ , г, осаду та розміщують його в центральній камері фільтр-преса.

5. Під'єднують компресор, занотовують величину тиску  $\Delta P$ , Па, який створюється в камері.

6. Вимірюють об'єм фільтрату, який відводиться з крайніх камер:  $V_{\phi 1}$  через  $t_{\phi 1} = 30$  с, та  $V_{\phi 2}$  у кінці експерименту.

7. Заміряють тривалість процесу  $t_{\phi 2}$ , с, до моменту припинення утворення фільтрату.

8. Зупиняють компресор, розбирають установку та вилучають з неї зневоднений осад.

9. Зважують осад у попередньо висушеній та зваженій чашці (маса зневодненого осаду  $m_{oc}$ ) і ставлять його до сушильної шафи для визначення вологості.

### Обробка результатів

1. Густина осаду до зневоднення  $\rho$ , г/мл:

$$\rho = \frac{m_1}{V_1}. \quad (4.1)$$

2. Вологість осаду до,  $W_{en}$ , та після,  $W_{ex}$ , зневоднення.

3. Об'єм осаду, мл, який помістили в камеру фільтр-преса:

$$V_o = \frac{m_o}{\rho}. \quad (4.2)$$

4. Об'єм зневодненого осаду, мл, за результатами вимірювань:

$$V_{oc} = V_o - V_{\phi 2}. \quad (4.3)$$

5. Густина зневодненого осаду, г/мл:

$$\rho = \frac{m_{oc}}{V_{oc}}. \quad (4.4)$$

6. Кількість фільтрату, яка повинна утворитись при зміні вологості осаду від  $W_{en}$  до  $W_{ex}$  за умови, що густина фільтрату 1,0 г/мл:

$$V^p_{\phi} = m_o \cdot W_{en} - m_{oc} \cdot W_{ex} , \quad (4.5)$$

Порівнюють  $V_{r\phi}$  з отриманою експериментально шляхом вимірювання  $V_{\phi 2}$ .

7 . Питомий об'єм осаду, який відповідає 1 мл фільтрату:

$$x_{oc} = \frac{V_{oc}}{V_{\phi 2}} . \quad (4.6)$$

8. Питоме навантаження (питома витрата фільтрату), л/м<sup>2</sup>,

$$q = \frac{10 \cdot V_{\phi 2}}{S} , \quad (4.7)$$

$$q_1 = \frac{10 \cdot V_{\phi 1}}{S} . \quad (4.8)$$

9. Питомий опір фільтруванню осаду  $r_{oc}$  та фільтрувальної перетинки  $R_{\phi n}$  (на підставі даних експериментального фільтрування). Використовують рівняння фільтрування через фільтрувальну перегородку з шаром осаду у такому вигляді:

$$\frac{t}{q} = \frac{r_{oc} \cdot x_{oc} \cdot \mu}{2\Delta P} \cdot q + \frac{R_{\phi n} \cdot \mu}{\Delta P} , \quad (4.9)$$

де  $\mu = 0,001 \text{ Па}\cdot\text{с}$  – в'язкість води.

Після математичних перетворень, подають рівняння як

$$\frac{t}{q} = a \cdot q + b,$$

де  $a = \frac{r_{oc} \cdot x_{oc} \cdot \mu}{2 \Delta P}$ ;  $b = \frac{R_{\phi n} \cdot \mu}{\Delta P}$ ;

• Визначають  $a$  за двома експериментальними значеннями фільтрування:

$$a = \frac{\frac{t_{\phi 2}}{q_2} - \frac{t_{\phi 1}}{q_1}}{10^4 \cdot (q - q_1)}, \quad (4.10)$$

Відповідно, питомий опір фільтруванню осаду, Па·с/м<sup>2</sup>

$$r_{oc} = \frac{2a \cdot \Delta P}{x_{oc} \cdot \mu}. \quad (4.11)$$

• Визначають  $b$ :

$$b = \frac{t_{\phi 2}}{q} - a \cdot q. \quad (4.12)$$

Опір фільтрувальної перегородки становить:

$$R_{\phi n} = \frac{b \cdot \Delta P}{\mu}, \text{ Па} \cdot \text{с} / \text{м}^2. \quad (4.13)$$

10. *Ефективність зневоднення* визначають через інтенсивність зменшення вологості осаду за час фільтрування:

### 1. Висновки по роботі

$$E = \frac{W_{en} - W_{ex}}{W_{en}}. \quad (4.14)$$

Записують основні результати роботи: величину тиску та тривалості фільтрування, питомого опору фільтрування осаду та фільтрувальної перегородки, ефективність зневоднення.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод : навчальний посібник. Рівне : ВАТ “Рівненська друкарня”, 2003. 622 с. <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/15447>.

2. Гіроль М. М., Гіроль, А. М., Гіроль, А. М. Технології водовідведення промислових підприємств. Рівне : НУВГП, 2013. <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/3204>.

3. ДБН В.2.5.-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Київ, Мінрегіонбуд. 2013.

4. Айрапетян Т. С. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія очистки промислових стічних вод» / Нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. 73 с.