



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО  
ГОСПОДАРСТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

КАФЕДРА ВОДОПОСТАЧАННЯ, ВОДОВІДВЕДЕННЯ  
ТА БУРОВОЇ СПРАВИ

**03-06-75**

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до лабораторних робіт з дисципліни  
«Системи водовідведення промислових підприємств»  
для здобувачів вищої освіти другого  
(магістерського) рівня освіти за спеціальністю  
192 «Будівництво та цивільна інженерія»  
за освітньо-професійною програмою «Водопостачання та  
водовідведення» усіх форм навчання



Рекомендовано  
науково-методичною комісією  
зі спеціальності 192  
„Будівництво та цивільна  
інженерія»  
Протокол № 7 від 18.06.2018р.

Рівне – 2018



Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Системи водовідведення промислових підприємств» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня освіти за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» за освітньо-професійною програмою «Водопостачання та водовідведення» усіх форм навчання / Вижевська Т. В., Ковальчук В. А. – Рівне : НУВГП, 2018. – 24 с.

Укладачі: Т. В. Вижевська, канд. техн. наук, доцент,  
В. А. Ковальчук, доктор техн. наук, професор.



Відповідальний за випуск – В. О. Шадура, канд. техн. наук,  
доцент, в. о. завідувача кафедри,  
водопостачання, водовідведення та  
бурової справи.

## З М І С Т

Вступ	3
Лабораторна робота №1. Напірна флотація	3
Лабораторна робота №2. Електрофлотація, електрокоагуляція-флотація	9
Лабораторна робота №3. Адсорбція	16
Лабораторна робота №4. Зневоднення осаду фільтр- пресуванням	20
Література	24

© Т. В. Вижевська,  
В. А. Ковальчук, 2018  
© НУВГП, 2018



## ВСТУП

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

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**

- конічні скляні лабораторні місткістю 250 см<sup>3</sup>;
- лійки скляні для фільтрування; скляна паличка для перемішування;
- паперові фільтри (синя стрічка);
- скляні бюкси.

#### **Реактиви:**

**Мета лабораторної роботи:** визначення та аналіз основних параметрів процесу напірної флоатації: 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 активний мул з аеротенків споруд біологічного очищення стічних вод використовують для дослідження.

### Методичні вказівки

**Напірна флотація** застосовується для вилучення із стічних вод грубодисперсних (завислі речовини), емульгованих (нафтопродукти, жири, смоли) та розчинених (молекули органічних сполук, іони металів тощо) забруднень у шламовий шар.

Спосіб ґрунтується на утворенні флотаційно активних комплексів часток забруднень із мікробульбашками повітря. Дрібні (20...100мкм) 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 понаднормово 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 забезпечує необхідну тривалість контакту між часткою та бульбашкою. Кількість розчиненого повітря і розмір бульбашок можна регулювати шляхом зміни тиску і тривалості насичення. Практично напірну флотацію здійснюють подаючи стічні води у флотаційну камеру насосом через резервуар, у якому відбувається розчинення повітря у воді під тиском.

### 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 у мулі  $C_{en}$  (завислі речовини). Враховуючи, що вміст сухої речовини у мулі має величину



порядку кількох грамів на  $1\text{дм}^3$ , об'єм проби для визначення завислих речовин може бути зменшений до  $100\text{см}^3$ . Визначення проводять за стандартною методикою: фільтрування через попередньо зважений у бюксі після висушування фільтр, висушування фільтра при температурі  $105^\circ\text{C}$  до сталої маси, зважування фільтра з осадам у бюксі.

**3. Відбирають  $V = 250\text{см}^3$  активного мулу** до циліндра. Враховуючи, що концентрація завислих речовин, зазвичай, перевищує  $3,0\text{г/дм}^3$ , застосовують схему напірної флотації з рециркуляцією (робочою рідиною). Коефіцієнт рециркуляції приймають рівним  $1,0-2,0$  залежно від концентрації мулу.

**4. Для рециркуляції використовують водопровідну воду, попередньо насичену повітрям.** Для цього заливають приблизно  $500\text{ см}^3$  води до напірного резервуара, приєднують компресорну установку та подають повітря. Для інтенсифікації розчинення повітря перемішують вміст напірного резервуара шляхом струшування протягом не менше, ніж  $2\text{хв}$ .

**5. Замірюють тиск повітря  $P$ , МПа, і тривалість насичення води повітрям  $t_n$ , хв.**

**6. Додають до активного мулу в циліндр насичену повітрям воду у кількості  $V_r$ ,  $\text{см}^3$ , яка відповідає прийнятому коефіцієнту рециркуляції.**

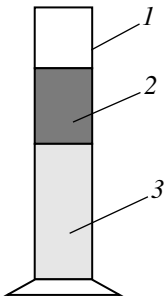


Рис. 1.1. Схема розділення суміші активного мулу з водою, насиченою повітрям:  
1 – циліндр;  
2 – шлам;  
3 – освітлена вода.

**7. Швидко перемішують вміст циліндра**, залишають його у спокої.

Проводять спостереження, стежачи за часом. Фіксують момент, коли суміш почне розділятися (рис. 1.1) з утворенням шару шламу та освітленої води. Записують інтервали

часу від початку розділення та об'єм шламу  $V_{sl}$ ,  $\text{см}^3$ , протягом  $30\text{хв}$ . Рекомендовано виконувати вимірювання по мірі зменшення об'єму шламу на  $5-10\text{см}^3$ . Описують хід процесу флотаційного розділення (зміна прозорості освітленої води,



швидкості підйому шламу тощо). Будують графік у координатах  $V_{sl}$ ,  $\text{см}^3$ , (ордината),  $t$ , хв. (абсциса).

8. Відбирають освітлену воду за допомогою сифонної трубки та визначають вміст у ній завислих речовин  $C_{en}$ . Об'єм проби для аналізу – не менше  $250\text{см}^3$ .

9. Відбирають пробу шламу для аналізу вологості у попередньо зважену висушену чашку. Методика визначення вологості – стандартна шляхом висушування проби шламу при  $105\text{ }^\circ\text{C}$  та зважування чашки з вологою та висушеною пробую.

### Обробка результатів

#### Визначення ефективності очищення напірною флотацією

1. Визначення концентрації  $C_{зр}$  завислих речовин у активному мулі  $C_{en}$  та в освітленій рідині  $C_{ex}$ ,  $\text{г/дм}^3$ , проводять

за формулою 
$$C_{зр} = \frac{m_{ef} - m_{чф}}{V_{np}} \cdot 1000, \quad (1.1)$$

де  $m_{ef}$ ,  $m_{чф}$ , – маса висушеного фільтра у бюксі, відповідно, з осадом та чистого, г;  $V_{np}$  – об'єм проби,  $\text{см}^3$ .

2. Концентрація завислих речовин суміші активного мулу та насиченої повітрям води,  $\text{г/дм}^3$ , при величині коефіцієнта

рециркуляції  $R = V_r / V$ : 
$$C_f = \frac{C_{en} + R \cdot C_r}{1 + R}, \quad (1.2)$$

де  $C_{en}$ ,  $C_r$  – концентрація завислих речовин, відповідно, у активному мулі та рециркуляційній воді (вважаємо, що  $C_r = 0$   $\text{г/дм}^3$ ).

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

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



### Визначення питомої витрати повітря

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

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

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

$$M_{ex} = C_{ex} (V(I + R) - W_{sl}) \quad (1.5)$$

3. Маса сухої речовини активного мулу у шламi (за розрахунком), г:

$$M_{sl} = M_{en} - M_{ex} \quad (1.6)$$

4. Концентрацію повітря у водi,  $C_{air}$ ,  $\text{см}^3/\text{дм}^3$ , відповідно до параметрів  $P$ ,  $t_n$  насичення, визначають за графіком (рис.1.2).

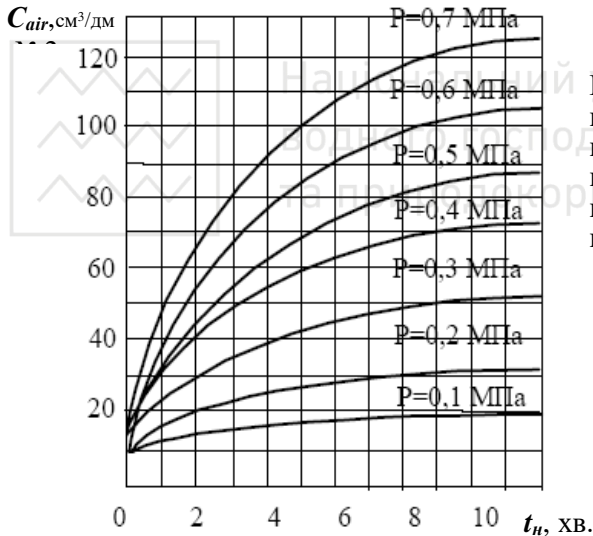


Рис.1.2 Залежність концентрації розчиненого у воді повітря від параметрів насичення

5. Витрата повітря на процес,  $\text{см}^3$ :

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

де  $V_r$  – витрата води на рециркуляцію,  $\text{дм}^3$ .

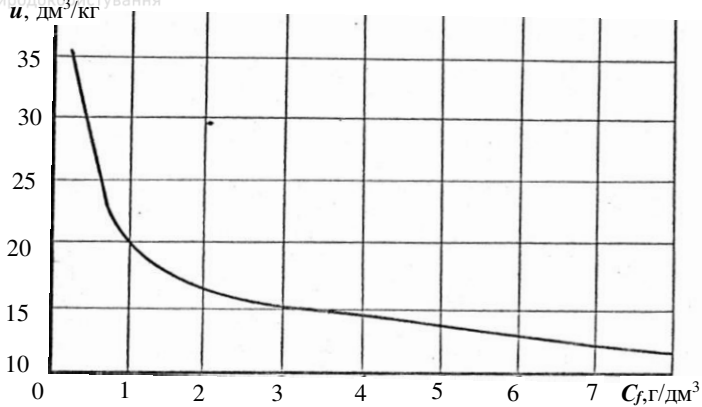


Рис. 1.3. Залежність між концентрацією нерозчинених домішок і питомою витратою повітря

6. Питома витрата повітря на 1 кг видлученої сухої речовини мулу,  $\text{дм}^3/\text{кг}$ , (ексериментальна):

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

7. Порівнюють отримане значення з рекомендованим (рис.1.3, [1]) при концентрації завислих речовин у флотаційній камері  $C_f$ .

### Визначення вологості шламу та ефективності ущільнення мулу

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

$$W_{sl}^p = \frac{V_{sl} \cdot \rho - M_{sl}}{V_{sl} \cdot \rho} \quad (1.9)$$

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

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

$$W_{sl}^e = \frac{m_{sl} - m_{cux}}{m_{sl} - m_{чч}} \quad (1.10)$$

де  $m_{чч}$ ,  $m_{sl}$ ,  $m_{cux}$  – маса чашок, відповідно, чистої, з вологим





шламом і висушенням до постійної маси шламом, г.

3. Вологість шламу за емпіричною формулою (в долях одиниці): 
$$W_{sl}^f = 0,985 - 0,005C_f \quad (1.11)$$

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

5. Ефективність ущільнення мулу  $E_p$  визначають за формулою: 
$$E_p = \frac{V + V_r}{V_{sl}} \quad (1.12)$$

### Висновки по роботі

Записують основні результати роботи: параметри процесу напірної флотації, його ефективність, порівняння результатів, отриманих за різними методиками, наводять графік зміни у часі об'єму освітленої рідини під час флотації.

### 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  $100\text{см}^3$ ,  $500\text{см}^3$ ;
- колби конічні скляні лабораторні місткістю  $250\text{см}^3$ ;



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

#### Реактиви:

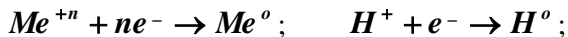
- модельний розчин (розчин барвника коричневого кольору кислото).

### 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 у розчині 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 невпорядкований 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:  $2OH^{-} - 2e^{-} \rightarrow H_2O + O^0$ ;  $Me^0 - ne^{-} \rightarrow Me^{+n}$ .

Витрата електроенергії для очищення стічних вод електрокоагуляцією-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  $D_e$ , густини струму  $i$ , напруги електролізу  $U$ ) залежать від матеріалу електродів, виду, кількості і властивостей забруднень та визначаються експериментально.



## Описання лабораторної установки та порядок визначення

Схема установки наведена на рис.2.1. 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 флотаційного розділення, вимірюють об'ємним способом мірним циліндром, час – секундоміром. Якісні показники модельної рідини визначають фотоелектроколориметром непрямым способом - через оптичну проникність та щільність світлового потоку.

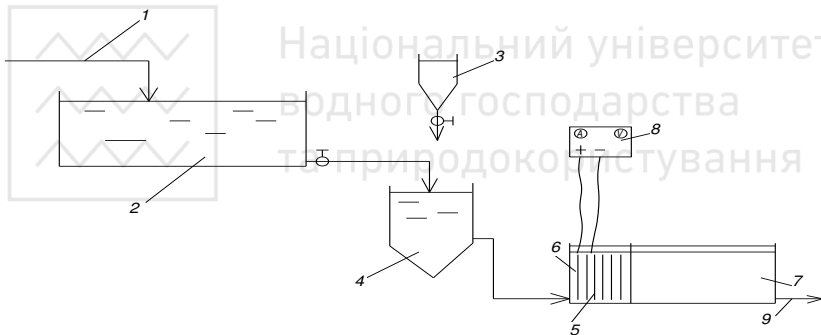


Рис. 2.1. Схема лабораторної установки електрокоагуляції-флотації:

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.

Як забруднювач модельної стічної води використовують розчин барвника прямого коричневого кислого, який широко застосовують у текстильній промисловості.

Барвник адсорбується 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.



### Хід визначення

1. Перед увімкненням установки вимірюють розміри камер електролізу та флотації, розміри та товщину алюмінієвих пластин. Розраховують об'єми камер, площу поверхні та об'єм електродної системи. Результати вимірювань і розрахунків заносять у табл.2.1.

2. Готують концентрований розчин барвника, регулюють сталу подачу його до водопровідної води, щоб концентрація барвника у модельному розчині була постійною.

Таблиця 2.1

Розміри камер електролізу, флотації, пакету електродів

Параметри	Камера електролізу	Камера флотаційного розділення	Пакет електродів
Розміри $b \times l$ , см	у плані		1 електроду
Висота (товщина), см	до рівня води		$p$ , 1 електроду
Площа поверхні, см <sup>2</sup>	водної поверхні		$f$ , 1 електроду
Об'єм, см <sup>3</sup>	$V_e$ , води	$V_f$ , води	пакету

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

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

5. Проводять спостереження процесу: появу у часі пластівців гідроксиду алюмінію, бульбашок газів у камері електролізу, переливання води до камери флотаційного розділення, підйом флотаційних агрегатів, утворення шламового шару, його забарвлення, освітлення води під шаром шламу.

6. Визначають витрату води, яку очищають. Для цього замірюють час  $t$ , с, протягом якого у циліндрі набереться  $V = 500 \text{ см}^3 = 0,5 \text{ дм}^3$  очищеної води з відповідного патрубку. Вимірювання повторюють тричі та визначають середнє



значення  $t_{mid}$ , с. Витрату,  $\text{дм}^3/\text{хв.}$ , визначають за формулою

$$q = \frac{V}{t_{mid}} \cdot 60 \quad (2.1)$$

7. Вимірюють величини сили струму  $I$  та напруги  $U$  електролізу.

8. 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  $T_{en}^{mid}$  та  $T_{ex}^{mid}$ .

9. Вимірюють висоту шару шламу  $h_{st}$ ,  $\text{дм}$ , та відбирають пробу шламу для визначення його вологості  $W_{st}$  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, хв., (рекомендовано до 15 хв.):

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

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

$$t_f = \frac{V_f}{q} 10^{-3} \quad (2.3)$$

3. Горизонтальна швидкість руху води в камері флотації,  $\text{мм/с}$ , (рекомендовано до 5  $\text{мм/с}$ ), розміри камери флотації

$$B_f, H_f, \text{ м:} \quad v_f = \frac{q}{B_f \cdot H_f \cdot 60} \quad (2.4)$$

4. Швидкість руху води  $v_e$  в міжелектродному



просторі, мм/с, (має бути в межах 2...5 мм/с), розміри камери

електро-лізу  $V_e, L_e, p$  - м: 
$$v_e = \frac{q}{60L_e(V_e - N \cdot p)}$$

(2.5)

5. Активна поверхня  $S$  електродної системи, см<sup>2</sup>, яка складається з  $N$  пластин, поверхня кожної з яких  $f$  :

$$S = f \cdot (N - 1) \quad (2.6)$$

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

6. Густина струму на електродах, А/м<sup>2</sup>:

$$i = \frac{I}{S} 10^4 \quad (2.7)$$

7. Питома витрата струму на обробку води, А-год/м<sup>3</sup>:

$$D = \frac{I}{3,6q} \quad (2.8)$$

8. Питома витрата електроенергії, кВт-год/м<sup>3</sup>:

$$D_e = \frac{D \cdot U}{1000} \quad (2.9)$$

9. Добова витрата електроенергії на здійснення процесу, кВт-год/добу:

$$Q_{доб}^e = \frac{24 \cdot I \cdot U}{1000} \quad (2.10)$$

10. Питома витрата металу електродів, які розчиняються, г/м<sup>3</sup>: 
$$m_e = \frac{K_i \cdot A \cdot I}{q} = K_i \cdot A \cdot D, \quad (2.11)$$

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

$A$  – 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, кг, яка може бути використана при електрокоагуляції (розміри електродів системи:  $f$  – м<sup>2</sup>,  $p$  – м):

$$M_e = (f \cdot p \cdot N) \gamma \cdot K_e, \quad (2.12)$$

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

$K_e$  – коефіцієнт використання матеріалу електроду, 0,8...0,9.

12. Тривалість роботи електродної системи, год., при робочій витраті води:  $T_e = \frac{M_e \cdot 10^6}{q \cdot t_e}$  (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 флотажії

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

2. Визначають навантаження  $q_{cux}$ , кг/дм<sup>2</sup>, на одиницю водної поверхні камери флотажії за сухою речовиною шламу  $M_{cux \perp \Gamma}$ :

$$q_{cux} = \frac{M_{cux}}{B_f \cdot L_f} = \frac{h_{sl} \cdot B_f \cdot L_f (1 - W_{sl})}{B_f \cdot L_f} \cdot \gamma_{sl} = h_{sl} \cdot (1 - W_{sl}) \cdot \gamma_{sl}, \quad (2.15)$$



де  $\gamma_{sl}$  – об'ємна маса сухої речовини шламу, 1,1 кг/дм<sup>3</sup>.

## Висновки по роботі

Записують основні результати роботи: параметри роботи установки електрокоагуляції-флотації, навантаження шламу, питому витрату повітря та ефективність очищення.

## Лабораторна робота №3.

### АДСОРБЦІЯ

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

#### 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 в ній 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 одно-





ступеневий статичний процес, який реалізується шляхом 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 вода, що очищується, рухається від першого до наступних ступенів, причому на кожний ступінь вводиться свіжий сорбент як частка від загальної його витрати. У схемі з протитечією 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 сталу подачу його до водопровідної води, щоб концентрація барвника у модельному розчині була постійною.

2. Попереднє визначення дози адсорбенту:

- відбирають пробу  $V = 100 \text{ см}^3$  у три циліндри. Зважаючи, що звичайно адсорбент застосовують у дозах  $10 \dots 100 \text{ мг/дм}^3$ , вносять до циліндрів  $m = 1,0, 5,0, 10,0 \text{ мг}$ , що відповідає дозі адсорбенту, відповідно,  $d = 10, 50, 100 \text{ мг/ дм}^3$ ;

- вміст кожного циліндра ретельно перемішують протягом не менш, як двох хвилин, після чого залишають у спокої на  $15 \dots 20 \text{ хв.}$  для відстоювання та візуального спостереження;

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

3. За допомогою фотоелектроколориметра визначають оптичну проникність  $T_{en}$  та щільність світлового потоку  $D_{en}$  для фільтрату забрудненої забарвленої води перед початком основного дослідження. 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, відповідно, менші та більші від основної на 25 та 50 мг/дм<sup>3</sup>, 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/ дм <sup>3</sup>	Оптична проник- ність <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:

- основну дозу адсорбенту поділяють на три однакові частини;
- додають до 1-го циліндра першу частку сорбенту та перемішують із модельним розчином, відстоюють і декантують;
- очищену у першому ступені воду додають у другий циліндр та перемішують із другою часткою сорбенту і т.д.;
- після відстоювання у третьому циліндрі відфільтровують його вміст через паперовий фільтр та колориметрують, визначаючи оптичну проникність  $T_{ex}^{III}$  та щільність  $D_{ex}^{III}$ .

### Обробка результатів

1. Питому витрату (дозу) адсорбенту  $d$ , мг/дм<sup>3</sup>, визначають за формулою:

$$d = \frac{m \cdot 1000}{V} \quad (3.1)$$

### Одноступенева статична адсорбція

2. Будують графіки залежності оптичної проникності



$T_{ex}$  та оптичної щільності  $D_{ex}$  від дози  $d$  адсорбенту.

3. Визначають ефективність  $E_i$  знебарвлення модельного розчину за інтенсивністю зростання оптичної проникності  $T_{ex}^i$   $i$ -го дослідження порівняно з початковим значенням  $T_{en}$  для неочищеного розчину та записують результати в табл. 3.1:

$$: \quad E_i = \frac{T_{ex}^i - T_{en}}{T_{en}}. \quad (3.2)$$

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.

#### ***Триступенева послідовна адсорбція***

6. Визначають ефективність  $E_i^{\text{III}}$  знебарвлення модельного розчину при переході до 3-ступеневої послідовної адсорбції шляхом порівняння величин оптичних проникностей, відповідно,  $T_{ex}^i$  та  $T_{ex}^{\text{III}}$ :

$$E_i^{\text{III}} = \frac{T_{ex}^{\text{III}} - T_{ex}^i}{T_{ex}^i}. \quad (3.3)$$

#### **Висновки по роботі**

Записують основні результати роботи: наводять графік залежності ефективності знебарвлення (оптичної проникності та оптичної щільності) від дози адсорбенту; визначають оптимальну дозу адсорбенту; порівнюють результати, отримані при знебарвленні розчину різними дозами адсорбенту при одноступеневій адсорбції та при застосуванні триступеневої 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-преса;
- стенд для закріплення фільтр-преса;
- 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 паличка 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/дм<sup>3</sup>). Конструктивно процес реалізується у рамних та камерних фільтр-пресах.

#### Описання лабораторної установки

Лабораторна установка складається з модельного фільтр-преса та компресора. Модель фільтр-преса має три камери (рис.4.1). Центральна камера 2 через фільтрувальні перегородки 3 сполучена з крайніми камерами 4, в яких збирається фільтрат.



Перегородки оснащені фільтруючим матеріалом – кордом щільного плетіння. Осад розміщують в центральній камері, куди приєднують трубопровід стисненого повітря від компресора.

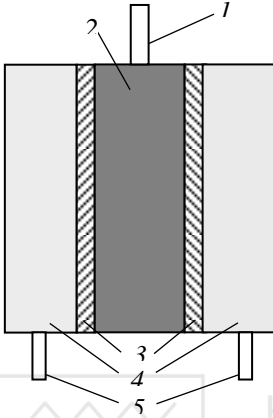


Рис.4.1. Модель фільтр-преса:  
1- приєднання компресора;  
2- центральна камера;  
3- фільтрувальні перегородки;  
4- крайні камери;  
5- відведення фільтрату.

Рідина під тиском витискується з осаду і через фільтрувальні перегородки потрапляє до крайніх камер, звідки відводиться через патрубки відведення фільтрату.

### Хід визначення

1. Перед початком дослідження визначають густину осаду, який зневоднюють. Для цього відбирають у попередньо зважену градуйовану хімічну склянку  $V_1$  см<sup>3</sup> 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.

3. Замірюють розміри фільтрувальних перегородок та визначають їх сумарну площу,  $S$ , см<sup>2</sup>.

4. Відбирають  $m_{en}$  г, осаду та розміщують його в центральній камері фільтр-преса.

5. Приєднують компресор, занотують величину тиску  $\Delta P$ , Па, який створюється в камері.

6. Вимірюють об'єм фільтрату, який відводиться з крайніх камер:  $V_f^I$  через  $t_f^I = 30$  с, та  $V_f^{II}$  у кінці експерименту.

7. Замірюють тривалість процесу  $t_f^{II}$ , 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  $m_{sl}$ , г) і ставлять його до сушильної шафи для визначення вологості.

### Обробка результатів

1. Густина осаду до зневоднення  $\rho$ , г/см<sup>3</sup>:

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

2. Вологість осаду до,  $W_{en}$ , та після,  $W_{ex}$ , зневоднення визначають за стандартною методикою, див. лабораторну роботу 1.

3. Об'єм осаду, см<sup>3</sup>, який помістили в камеру фільтр-преса:

$$V_{en} = \frac{m_{en}}{\rho} \quad (4.2)$$

4. Об'єм зневодненого осаду, см<sup>3</sup>, за результатами вимірювань:

$$V_{sl} = V_{en} - V_f^{\Pi} \quad (4.3)$$

5. Густина зневодненого осаду, г/см<sup>3</sup>:

$$\rho_{sl} = \frac{m_{sl}}{V_{sl}} \quad (4.4)$$

6. Кількість фільтрату, яка повинна утворитись при зміні вологості осаду від  $W_{en}$  до  $W_{ex}$  за умови, що густина фільтрату становить 1,0 г/см<sup>3</sup>:

$$V_f^p = m_{en} \cdot W_{en} - m_{sl} \cdot W_{ex} \quad (4.5)$$

Порівнюють кількість фільтрату  $V_f^p$  розрахункову та  $V_f^{\Pi}$ , отриману експериментально шляхом вимірювання.

7. Питомий об'єм осаду, який відповідає 1см<sup>3</sup> фільтрату:

$$x_{sl} = \frac{V_{sl}}{V_f^{\Pi}} \quad (4.6)$$



8. Питоме навантаження (питома витрата фільтрату),  $\text{дм}^3/\text{м}^2$ ,

$$q^{\text{II}} = \frac{10 \cdot V_f^{\text{II}}}{S} \quad q^{\text{I}} = \frac{10 \cdot V_f^{\text{I}}}{S} \quad (4.7)$$

9. Питомий опір фільтруванню осаду  $r_{sl}$  та фільтрувальної перетинки  $R_{fp}$  визначають на підставі даних експериментального фільтрування. Застосовують рівняння фільтрування через фільтрувальну перегородку з шаром осаду у вигляді:

$$\frac{t}{q} = \frac{r_{sl} \cdot x_{sl} \cdot \mu}{2 \Delta P} \cdot q + \frac{R_{fp} \cdot \mu}{\Delta P} \quad (4.8)$$

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

Після математичних перетворень подають рівняння як



де

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

$$a = \frac{r_{sl} \cdot x_{sl} \cdot \mu}{2 \Delta P}; \quad b = \frac{R_{fp} \cdot \mu}{\Delta P};$$

• Визначають  $a$  за двома експериментальними значеннями фільтрування:

$$a = \frac{\frac{t_f^{\text{II}}}{q} - \frac{t_f^{\text{I}}}{q_1}}{10^4 \cdot (q - q_1)}, \quad (4.9)$$

Відповідно, питомий опір фільтруванню осаду,  $\text{Па} \cdot \text{с}/\text{м}^2$

$$r_{sl} = \frac{2a \cdot \Delta P}{x_{sl} \cdot \mu} \quad (4.10)$$

• Визначають  $b$ :

$$b = \frac{t_f^{\text{II}}}{q} - a \cdot q$$

Опір фільтрувальної перегородки становить,  $\text{Па} \cdot \text{с}/\text{м}^2$ :

$$R_{fp} = \frac{b \cdot \Delta P}{\mu} \quad (4.11)$$



## Висновки по роботі

Записують основні результати роботи: величину тиску та тривалості фільтрування, питомого опору фільтруванню осаду та фільтрувальної перегородки, ефективності зневоднення. Відзначають точність визначення параметрів за різними методами.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Водовідведення на промислових підприємствах. Навчальний посібник / А. І. Мацнев, Л. А. Саблій. Рівне : Українська державна академія водного господарства, 1998. 219 с.
2. Мацнев А. И. Водоотведение на промышленных предприятиях. Львов : Вища школа, 1986.
3. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: Київ, Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 128 с.
4. А. К. Запольський, Н. А. Мішкова-Клименко, І. М. Астрелін та інш. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод. Підручник. Київ: вид-во «Лібра», 2000. 552с.
5. Гіроль М. М. Технології водовідведення промислових підприємств: Навчальний посібник / Гіроль М. М., Гіроль А. М., Гіроль А. М. Рівне, НУВГП, 2013. 625 с.