



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства
та природокористування
Навчально-науковий інститут агроекології та землеустрою
Кафедра хімії та фізики

05-06-96

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичної роботи на тему: «Електрохімічні процеси для розділення однорідних систем» з навчальної дисципліни «Виробничі процеси та обладнання» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної форми навчання

Рекомендовано науково-методичною комісією зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Протокол №7 від 5.03.2019 р.

Рівне – 2019



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Методичні вказівки до виконання практичної роботи на тему:
«Електрохімічні процеси для розділення однорідних систем» з
навчальної дисципліни «Виробничі процеси та обладнання» для
здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за
спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології» денної форми навчання / Корчик Н. М., Мисіна О. І.
– Рівне : НУВГП, 2019. – 19 с.

Укладачі: Корчик Н. М., доцент кафедри хімії та фізики;
Мисіна О. І., ст. викладач кафедри хімії та фізики.



національний університет
водного господарства
та природокористування

Відповідальний за випуск: Яцков М. В., канд.техн.наук,
професор кафедри хімії та фізики.

© Корчик Н. М.,
Мисіна О. І., 2019
© НУВГП, 2019



З М І С Т

Стор.

ПЕРЕДМОВА.....4

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1.

Розрахунок електрореактора для відновлення Cr(VI)....5

Запитання для самоконтролю.....13

ПРАКТИЧНА РОБОТА №2.

Розрахунок електролізера з нерозчинними електродами
(для електрохімічної регенерації активного хлору).....14

Запитання для самоконтролю.....18

ЛІТЕРАТУРА.....19



ПЕРЕДМОВА

Практичні роботи з навчальної дисципліни «Виробничі процеси і обладнання» дають можливість для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня більшого поглиблення та засвоєння знань з даної дисципліни.

Методичні вказівки містять дві практичні роботи:

«Розрахунок електроореактора для відновлення Cr(VI)» та «Розрахунок електролізера з нерозчинними електродами (для електрохімічної регенерації активного хлору)».

Перша практична робота дозволяє визначити основні технологічні та конструктивні параметри (силу струму, витрату струму, напругу) та конструктивні параметри (кількість електродів, площу поперечного перерізу, об'єм електродного простору, довжину електродної системи). В роботі наведені також рекомендації для вибору необхідних параметрів для розрахунку на основі промислових експериментальних досліджень із застосуванням системи електродів з розчинним анодом.

Друга практична робота розглядає застосування електролізу для знезараження стічних та природних вод. В роботі наведений розрахунок електролізера з нерозчинними (графітовими) електродами, де за рахунок електрохімічної генерації хлору відбувається процес знезараження. Вона включає розрахунок технологічних та конструктивних параметрів на підставі наведених дослідно-промислових експериментів.



ПРАКТИЧНА РОБОТА №1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОРЕАКТОРА ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ Cr(VI)

Теоретична частина

Електрохімічні процеси більш широко використовуються в порівнянні з усіма безреагентними, через можливість ціле направленої зміни фізико-хімічних властивостей розчинів (pH , Eh , температура та ін.), а також отриманню реагентів, за рахунок анодних (катодних) процесів, без введення вторинних іонів в систему.

Електрообробка є повною мірою і комбінованим методом, оскільки поєднує в собі енергетичний вплив на розчин за рахунок силового електричного поля і хімічного впливу продуктів електродних реакцій.

В той же час електрообробка має ту значну перевагу, що продукти електродних реакцій утворюються з інгредієнтів, які присутні в розчині, що включає «вторинне» забруднення.

Силова дія електричного поля поділяється на: силову дію на межі електрод-розчин і на силову дію в об'ємі розчину електроліту.

Силова дія на межі електрод-розчин визначає кінетику електродних реакцій.

Силова дія електричного поля в об'ємі розчину електроліту забезпечує електроорієнтацію частинок вздовж вектора зовнішнього поля, поляризаційну коагуляцію (електрокоагуляцію) за рахунок поляризаційних взаємодій між частинками дисперсної фази, міграцію заряджених частинок в рідині, а також її нагрівання.

Дія продуктів електродних реакцій

При електролізі утворюються розчинні продукти реакції, а також газові та тверді фази.

Розчинні продукти електролізу діють, в основному, на окисно-відновні властивості розчинів. Наприклад, на валентний стан домішок і тим самим прискорює подальше їх перетворення в сотні разів. Газова фаза забезпечує взаємодію домішок за



рахунок зміни гідродинамічного стану в електролізері, утворення флотокомплексів, зміни властивостей в розчині при розчиненні електролітичних газів.

Тверда фаза забезпечує коагуляцію, сорбцію, флокуляцію. Електролітично отримана тверда фаза (коагулянт) має підвищені коагуляційні та сорбційні властивості.

Фазово-дисперсний перетворення на межі електрод-розчин

Електроліз здійснюється в системах, що складаються з таких елементів: розчину електроліту, електродів, зовнішнього джерела струму, струмовідводів.

Електрохімічні процеси, як правило, здійснюються за рахунок підведення ззовні електричної енергії. В загальному випадку при електролізі протікають окисно-відновні реакції: на аноді – втрата електронів (окиснення), на катоді – приєднання (відновлення). Однак механізм електрохімічних реакцій суттєво відрізняється від звичайних хімічних перетворень

В основі процесу електролізу лежать процеси розпаду речовин чи отримання нових продуктів на межі електрод-розчин за допомогою електричного струму.

Практична частина

Вихідними параметрами для розрахунку ϵ : вихідна та залишкова концентрація форм хрому (VI і III) у воді; pH води; вольтамперна характеристика електролізу води, що обробляється; витрата очищеної води.

Маса продукту, що перетворюється, в одиниці об'єму:

$$m_{II} = C_H \cdot E_{II} \cdot a_{II}, \text{ мг/л} \quad (1)$$

де C_H – вихідна концентрація хрому у розчині, мг/л; E_{II} – ефект перетворення:

$$E_{II} = 1 - \frac{C_K^H}{C_H}, \quad (1.2)$$

де C_K^H – залишкова концентрація хрому Cr^{6+} , що не відновився, мг/л; $C_K^H = 0 \div 0,001$ мг/л; a_{II} – ступінь перетворення:



$$a_{II} = 1 - \frac{C_{II}^I}{C_K^I}, \quad (1.3)$$

де C_{II}^I і C_K^I – відповідно, початкова і кінцева концентрація відновленого хрому (Cr^{3+}) у розчині, мг/л.

Якщо у необробленому розчині присутній тільки $Cr(VI)$, то $a_{II} = 1$. При необхідності відновлення усєї маси хрому у розчині $E_{II} = 1$.

Витрата струму, необхідного для відновлення хрому:

$$D_C = \frac{\alpha_{II} \cdot d_Y \cdot \gamma}{\eta}, \text{ Кл/л} \quad (1.4)$$

де d_Y – питома кількість електрики, яка витрачається на відновлення 1 мг хрому, $d_Y = 10$ Кл/л; γ – коефіцієнт, який враховує вплив фізико-хімічних властивостей розчину і конструктивних властивостей електроореактора на відновлення хрому (pH , тощо); η – вихід за струмом заліза, який залежить від початкової мінералізації, pH води, що обробляється тощо.



та природокористування

Таблиця 1.1

Зміна γ та η в залежності від початкового pH розчину

pH	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
η	1,0	0,9	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4
γ	1,1	1,11	1,12	1,14	1,16	1,2	1,3

Середня сила струму, яка проходить крізь електроореактор:

$$I_H = \frac{D_C \cdot Q}{3,6 \cdot N_E}, \text{ А} \quad (1.5)$$

де Q – витрата рідини крізь електроореактор, m^3/g ; N_E – витратна кількість електроореакторів, шт.

Максимальна сила струму:

$$I_{\max} = K_{\max} \cdot I_H, \quad (1.6)$$

де K_{\max} – коефіцієнт, який враховує коливання мінералізації у воді, що утворилась, в залежності від тривалості усереднення (табл.1.2).



Активна поверхня електродів (анодна або катодна):

$$S_a = \frac{D_T \cdot Q}{3,6 \cdot i_E} = \frac{I_H}{i_E}, \text{ м}^2 \quad (1.7)$$

де Q – витрата рідини крізь електрореактор, $\text{м}^3/\text{с}$; i_E – густина струму на електродах (анодна або катодна).

Таблиця 1.2

Значення K_{max} в залежності від тривалості усереднення

Тривалість усереднення, год.	0	4	8	12	16	20	24
Загальний стік гальванічного виробництва	2,0	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
Промивні води гальванічного виробництва	1,5	1,3	1,2	1,15	1,1	1,05	1,00

Якщо для відновлення хрому передбачене використання електрорадіаторів з рівновеликими плоско паралельними електродами, то $i_a = i_k = 30\text{-}50 \text{ а/м}^2$.

Об'єм міжелектродного простору при прийнятій відстані між електродами $l_E = 10\text{-}20 \text{ мм}$ визначиться за формулою:

$$W_M = \frac{S_E \cdot l_E}{1000}, \text{ м}^3. \quad (1.8)$$

Площа поперечного перерізу міжелектродного простору:

$$F_M = \frac{W_M}{H_E}, \text{ м}^2 \quad (1.9)$$

де H_E – ефективна висота електродів, яка приймається рівною конструктивній висоті h_E , приймається у відповідності з даними табл.3 ($h_E \sim 0,8 \div 1,0$).

Швидкість руху води у міжелектродному просторі:

$$v = \frac{Q}{F_M \cdot N_E}, \text{ м/год.} \quad (1.10)$$



Швидкість v повинна перевищувати 50 м/год, у протилежному випадку слід збільшити висоту електродів H_E .

Тоді, ефективна ширина електродів:

$$B_E = \frac{F_M}{l_E}, \text{ м.} \quad (1.11)$$

Число між електродних просторів:

$$n_{PP} = \frac{B_E}{b_E}. \quad (1.12)$$

Кількість електродів

$$n_E = \frac{S_a}{2f_E} + 1 = \frac{S_a}{2 \cdot h_E \cdot b_E} + 1, \quad (1.13)$$

де f_E – площа одного електрода, м². Приймається у залежності від прийнятих конструктивних розмірів (h_E і b_E) електроду і складає, в середньому, 0,1-0,5 м². Величина f_E може бути уточнена у відповідності з даними табл.1.3 для рекомендованих розмірів h_E і b_E .

Таблиця 1.3

Визначення площі електроду в залежності від значень h_E і b_E , що рекомендуються

h_E	b_E					
	0,2	0,3	0,4*	0,5*	0,6	0,8
0,5*	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4
0,6	0,12	0,18	0,24	0,3	0,36	0,48
0,7	0,14	0,21	0,28	0,35	0,42	0,56
0,8*	0,16	0,24	0,32	0,4	0,48	0,64
0,9	0,18	0,27	0,36	0,45	0,54	0,72
1,0*	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
1,2	0,24	0,36	0,48	0,6	0,72	

Примітка: * Найбільш характерні розміри електродів, що рекомендуються, для проектування.

Кількість електродів в електродній системі не повинна перевищувати 30-40 згідно умов монтажу і обслуговування, а також надійності її роботи. Виходячи з даної умови призначаємо кількість секцій електрореактора.



Довжина електродної системи в секції електрореактора:

$$L_E = n_E \cdot p_E + n_{ПП} \cdot l_E, \text{ м} \quad (1.14)$$

де p_E – товщина електродів, мм; $p_E = 6-8$ мм.

Відношення $l_E : b_E$ повинно приблизно дорівнювати 1:1. Якщо не виконується дана умова слід змінити розміри h_E і b_E в межах, що рекомендуються (табл.3.1).

Напруга електрода

$$U_H = U_E + U_C, \text{ В} \quad (1.15)$$

де U_E – падіння напруги в електродній системі при електролізі, В; U_C – падіння напруги в токопідводах і контактах, В.

Падіння напруги в електродній системі визначають за спрощеними вольтамперними характеристиками, які побудовані для даної категорії вод, що обробляються, і вибраного матеріалу електродів при прийнятій відстані між електродами $l_E = 10-20$ мм.

Аналітичний вираз характеристики:

$$U_E = a_E i + b_E, \text{ В} \quad (1.16)$$

де a_E і b_E – емпіричні коефіцієнти, які визначаються експериментальним шляхом для конкретного виду стічних вод, які містять шестивалентний хром (табл.1.4).

Таблиця 1.4

Коефіцієнти a_E і b_E для визначення напруги електролізу

№ з.п.	Категорія вод, що обробляються	a_E	b_E	Відстань між електродами
1	Промивні води гальванічного виробництва: м.Вільнюс	5,4	0,08	8
	м.Кадайняй	5,8	0,09	8
	м.Санкт-Пітербург	6,3	0,09	6

Величина падіння напруги:

$$U_C = U_C^{\text{III}} + U_C^K, \text{ В} \quad (1.17)$$



де U_C^{III} – падіння напруги в нішах, В; U_C^K – падіння напруги в контактах, В.

$$U_C^{III} = i_C \cdot \xi_C \cdot l_C, \text{ В} \quad (1.18)$$

де i_C – щільність струму в шинах, а/мм²; ξ – питомий опір шин, Ом · мм²/м; l_C – товщина струмопровідних шин, м.

Допустимі значення i_C і ξ_T наведені в табл.1.5.

Таблиця 1.5

Питомий опір і допустима густина струму в шинах

№ з.п.	Найменування матеріалу	Питомий електричний опір, Ом · мм ² /м	Допустима густина струму, А/мм ²
1	Алюміній	0,026-0,029	2,0
2	Мідь	0,0175-0,018	3,0
3	Сталь	0,103-0,14	1,5
4	Цинк	0,053-0,062	-
5	Латунь	0,031-0,079	-

Падіння напруги в контактах:

$$U_C^K = i_K \cdot \xi_K, \text{ В} \quad (1.19)$$

де i_K – густина струму в контактах, а/мм²; $i_K = (1,3 \div 1,5)i_C$; ξ_K – питомий опір в контактах, а/мм².

Величина ξ_K залежить від питомого тиску в контактах, характеру обробки поверхні, матеріалу і температури контакту. При питомому тиску 50 кг/м² і температурі 25⁰С ξ_K приймає такі значення: для контакту мідь-мідь – 0,05; алюміній-алюміній – 0,5; графіт-мідь – 1,25; сталь-сталь – 0,4.

За розрахованими значеннями I_C і U_H підбирають відповідний тип випрямного агрегату (табл.1.6).

Питома витрата електроенергії на оброблення одиниці об'єму рідини:

$$P_{пит} = \frac{I_H \cdot U_E}{1000\eta Q}, \text{ кВт} \cdot \text{год/м}^3 \quad (1.20)$$

де η – к.к.д. випрямного агрегату; $\eta = 0,7 \div 0,9$.



Вага металу електродної системи з розчинними електродами, яка може бути використана при електролізі:

$$M_P = \eta_P \cdot \gamma_M \cdot f_E \cdot p_E \cdot n_E, \text{ т} \quad (1.21)$$

де γ_M – питома вага матеріалу електродів, т/м³ (залізо 7,86; алюміній – 2,58; графіт – 2,23 т/м³); η_P – коефіцієнт використання матеріалу електродів; $\eta_P = 0,7 \div 0,9$.

Питома витрата матеріалу електродів на одиницю оброблюваної рідини:

$$m_{\text{ПИТ}} = \eta_B \cdot A \cdot D_C, \text{ г/м}^3 \quad (1.22)$$

Тривалість роботи електродної системи з розчинними електродами:

$$T_E = \frac{M_P \cdot 10^6 \cdot N_E}{m_{\text{ПИТ}} \cdot Q_{\text{ДОБ}}}, \text{ доб} \quad (1.23)$$

де $Q_{\text{ДОБ}}$ – добова витрата води, що обробляється (м³/доб).

Габаритна довжина електрореактора:

$$L_G = L_E + \frac{\Delta L_G}{1000}, \text{ м} \quad (1.24)$$

де ΔL_G – сумарна товщина стінок електрореактора, ізоляційного покриття, зазорів між електродною системою і стінкою електрореактора, $\Delta L_G = 20\text{-}40$ мм.

Габаритна ширина електрореактора:

$$B_G = b_E + \frac{\Delta B_G}{1000}, \text{ м} \quad (1.25)$$

де $\Delta B_G = \Delta L_G = 30\text{-}40$ мм.

Габаритна висота електрореактора:

$$H_G = H_E + H_K + H_H + H_3, \quad (1.26)$$

де H_K – висота конусної поверхні, м; $H_K = 0,4 \div 0,6$ м; $H_H = 0,2 \div 0,4$ м; H_H – висота шару рідини над електродами, м; $H_H = 0,2 \div 0,4$ м. При утворенні в над електродному просторі «газового шару» H_H визначається у відповідності з методикою розрахунку електрореактора з «газовим шаром»; H_E – висота кромки електрореактора над поверхнею води, м; $H_3 = 0,1 \div 0,2$ м.



Запитання для самоконтролю

1. Поняття про електродні потенціали: механізм виникнення.
 2. Хімічні джерела електричної енергії, їх види, будова.
 3. Електродні потенціали. Рівняння Нернста.
 4. Електроліз розплавів та водних розчинів електролітів: коротка характеристика, приклади використання.
 5. Закони Фарадея. Застосування електролізу.
 6. Електроліз. Проблеми очищення промислових вод гальванічних виробництв.
 7. Стандартний водневий електрод: механізм будови, використання.
 8. Хімічні джерела електричної енергії: механізм будови.
 9. Хімічні джерела електричної енергії: види, прилади застосування.
 10. Ряд стандартних електродних потенціалів.
 11. Корозія металів: види корозії, коротка характеристика.
 12. Корозія металів: типи корозії, методи захисту.
 12. Хімічна корозія та методи захисту від неї.
 13. Електрохімічна корозія та методи захисту від неї.
- Корозія в ґрунті.
14. Хімічна корозія: коротка характеристика, методи захисту.
 15. Електрохімічна корозія: коротка характеристика, методи захисту.
 16. Гальванічні елементи: механізм будови, приклади використання.
 17. Будова та види гальванічних елементів.



ПРАКТИЧНА РОБОТА №2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОЛІЗЕРА З НЕРОЗЧИННИМИ ЕЛЕКТРОДАМИ (для електрохімічної регенерації активного хлору)

Теоретична частина

В результаті електродних процесів в прианодному шарі завжди спостерігається кисле середовище, а в прикатодному – лужне, тому в міжелектродному просторі від аноду до катоду pH змінюється від кислого до лужного, незалежно від реакції вихідного розчину, тобто в міжелектродному просторі завжди є шари з нейтральним pH . Існування нейтральних шарів та постійна йонізація води в електрохімічних гіпохлоридних розчинах утворюють сприятливі умови для окисно-відновних процесів, які каталізуються йонами H^+ та OH^- .

Електроліз забрудненої води має значні переваги перед звичайним хлоруванням, тому що швидкість кисневохлорного відновлення $a.x.$ (активний хлор) припадає на нейтральне середовище.

Важливим фактором, що забезпечує високі швидкості окиснення в електролітичних апаратах є багаторазова участь хлорид-йону в циклі: спочатку розряд на аноді та гідроліз з утворенням $a.x.$, потім відновлення $a.x.$ з утворенням атомного кисню та хлорид-йону.

Атомарний кисень, як найбільш сильний окисник залучається до окиснення домішок. Хлорид-йони знову роздратовуються на аноді. Такий процес може продовжуватися до тих пір, доки швидкість утворення $a.x.$ та його відновлення будуть рівні, а в розчині не буде накопичуватися $a.x.$ Зі зменшенням концентрації речовин, каталізуючих відновлення $a.x.$, починається поступовий ріст концентрації $a.x.$, а швидкість його утворення буде зменшуватися внаслідок зменшення концентрації хлорид-йонів у розчині.

Для ефективного очищення забруднених вод електрохімічним окисненням необхідно створити такі умови: достатню концентрацію хлоридів, швидкість потоку в міжелектродному просторі, необхідну довго тривалість обробки.



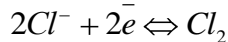
Більшість стічних вод мають низьку концентрацію хлоридів, тому скидаються в прісні поверхневі водойми.

Процес електрохімічної деструкції органічних забруднень знаходить широке застосування в технології очищення різних категорій промислових стічних вод.

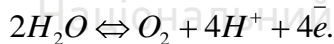
Практична частина

Призначення синтезу: очищення шляхом електрохімічної генерації «активного хлору» як ефективного дезінфікуючого агента в очищенні природних і стічних вод.

Суть методу: при електролізі розчинів з низькими концентраціями кухонної солі, стічних вод за наявності Cl^- йонів при електролізі на аноді виділяється хлор:

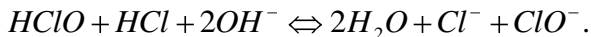
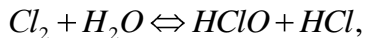


і побічна реакція:



Змінюючи різні параметри електролізу, підбираючи анодний матеріал, можна значно зменшити кількість струму, який йде на побічне виділення кисню.

Хлор, який виділяється на аноді, розчиняється в електроліті з утворенням хлоридної і хлорноватистої кислот, причому остання реагує з прикатодним лугом з утворенням гіпохлориту за рівнянням:



Бактеріальними властивостями володіють недисоційовані молекули хлорноватистої кислоти $HClO$ і гідрокислотні йони ClO^- .

Конструктивні особливості

З метою генерації активного хлору використовуються як діафрагмові, так і бездіафрагмові електролізери у формі електролізних ванн (прямокутні, циліндричні, колонні тощо).

В якості матеріалу анодів використовують титан, графіт. Матеріал катодів – сталь Ст.3.



Основні параметри для розрахунку: добові витрати стоків, необхідний ступінь очищення.

Основними розрахунковими параметрами є: витрати електроенергії, густина струму, напруга на електродах.

Методичні вказівки до розрахунку

1. Потрібну кількість активного хлору, необхідного для знезараження, розраховуємо згідно з рекомендаціями [8] $m = 2,5 \text{ г/м}^3$.

2. Витрати струму (кількість електрики на одиницю об'єму) визначають з таблиці 2.1 за останньою цифрою залікової книжки:

$$D = \frac{m_e}{\eta \cdot k_e}, \text{ кг/м}^3,$$

де m_e – потрібна кількість речовини для здійснення процесів очищення, г/м; k_e – електрохімічний еквівалент активного хлору, г/Кл ($k_e = 10^3 - 0,052 \text{ г/Кл}$).

3. Сила струму, необхідна для виділення в розчин m речовини:

$$I = D \cdot Q, \text{ А}$$

де Q – витрати обробленої рідини, м³/добу ($Q = 8 \text{ м}^3/\text{добу}$).

4. Активна поверхня електродів:

$$S_e = \frac{D \cdot Q}{366 \cdot i_e}, \text{ м}^2,$$

де i_e – щільність струму на електродах (задається залежно від категорії вод (приймаємо 200-400 А/м²)).

5. Площа поперечного перерізу електролізера:

$$A = \frac{Q}{V_d} = B_k \cdot L_k, \text{ м}^2,$$

де B_k і L_k – відповідна ширина і довжина електролізера, м (B_k і $L_k = i : 1$); V_d – швидкість обробленої рідини, м/с (приймаємо 10-20 м/год; відповідно 0,003-0,006 м/с;

$$B_k = L_k = \sqrt{E}.$$



6. Число електродів:

$$n_e = \frac{S_e}{h_e \cdot b_e},$$

де h_e і b_e – висота, ширина електродів. Може бути прийнята за розмірами стандартних листів металу, з яких будуть виготовлятися електроди ($h_e = 0,8$ м і $b_e = 1,2$ м).

7. Площа одного електрода:

$$f_e = b_e \cdot h_e.$$

8. Корисний об'єм електролізера:

$$V = \frac{S_e \cdot l_M}{1000}, \text{ м}^3$$

де l_M – відстань між електродами (приймаємо $l_M = 6-8$ мм).

9. Напруга електролізера:

$$U_e = U_e^0 + \Delta\varphi_A + \Delta\varphi_C + U_e^k + U_e^m, \text{ В.}$$

де U_e^0 – теоретична напруга розряду; $\Delta\varphi_A, \Delta\varphi_C$ – перенапруга на катоді та аноді відповідно; U_e^k – падіння напруги в електроліті; U_e^m – падіння напруги в електродній системі і т.д.

Напруга електролізера може бути визначена з воль амперної характеристики, побудованої для даної категорії води і виду матеріалів електродів.

За допомогою воль амперної характеристики для обраної напруги визначається максимальна i_e і відповідно i_{max} .

При цьому повинна виконуватись умова $I_B \geq I_{max}$, де I_B – максимально допустимий струм випрямляча, А.

(За дослідженнями деяких авторів $U_e = 4-6$ В при $i_e = 200-100$ А/м² та концентрації $NaCl$ в розчині до 5 г/л).

10. Витрати електроенергії на обробку одиниці об'єму рідини

$$W = \frac{I \cdot U_e}{1000 \cdot \eta \cdot Q}, \text{ кВт} \cdot \text{г/м}^3.$$

$\eta = 0,8 \div 0,9$ – коефіцієнт корисної дії випрямляча.



Таблиця 2.1.

**Залежність кількості утвореного хлору від витрат
струму при електролізі водних розчинів**

№ варіанту	Витрати струму, Кл/л	Кількість утвореного хлору м ³ /м ³ при виході струму				
		0,2	0,6	0,7	0,8	1,0
0	500	0,01143	0,3430	0,04002	0,04574	0,0571
1	1000	0,02287	0,06860	0,08004	0,09147	0,1143
2	1500	0,03430	0,10291	0,12006	0,13721	0,1715
3	2000	0,04574	0,13721	0,16008	0,18294	0,2287
4	2500	0,05717	0,17151	0,20010	0,22868	0,2858
5	3000	0,06860	0,20581	0,24011	0,27442	0,3430
6	3500	0,08004	0,24011	0,28013	0,32015	0,4001
7	4000	0,09147	0,27442	0,32015	0,36589	0,4574
8	4500	0,10291	0,30872	0,36017	0,41162	0,5145
9	5000	0,11434	0,34302	0,40019	0,45762	0,5717

Запитання для самоконтролю

1. Будова молекул та властивості води. Методи очищення природних, промислових та стічних вод.
2. Природні води, їх склад та властивості. Методи очищення природних, промислових та стічних вод.
3. Демінералізація води.
4. Твердість природних вод: її походження, методи усунення.
5. Значення аномальних властивостей води в природі і техніці.
6. Хімічні властивості води.
7. Хімічний склад природних вод.
8. Термічний та реагентний методи водопом'якшення.
9. Метод йонного обміну.
10. Методи водопом'якшення.



ЛІТЕРАТУРА

1. Яцков М. В., Корчик Н. М., Мисіна О. І. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2014. 389 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/1953> (дата звернення 08.05.2019).
2. Нестер, А. А., Корчик Н. М., Баран Б. А. Стічні води підприємств та їх очищення : монографія. Хмельницький : ХНУ, 2008. 171 с.
3. Яцков М. В., Корчик Н. М., Мисіна О. І. Типові технологічні процеси і об'єкти : навч. посіб. Рівне : РДТУ, 2004. 245 с.
4. Яцков М. В., Корчик Н. М., Мисіна О. І. Типові технологічні процеси та апарати : навч. посіб. Рівне : Червінко А. В., 2012. 278 с.