

УДК 628.3 : 622.5

Росіньський В. М., магістр, інженер I-ої категорії (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ОЦІНЦІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АПАРАТІВ-ЕЛЕКТРОРЕАКТОРІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ШАХТНИХ ВОД¹

Наведено результати експериментів вибору раціональних технологічних параметрів апаратів-електрореакторів, із узгодженням їх конструктивних та гідродинамічних характеристик, для очищення шахтних вод.

Ключові слова: критерій перфорації, біполярний електрод, апарат, гідравлічне навантаження, очищення, шахтна вода.

Приведены результаты экспериментов по выбору рациональных технологических параметров аппаратов-электролизаторов, с согласованием их конструктивных и гидродинамических характеристик, для очистки шахтных вод.

Ключевые слова: критерий перфорации, биполярный электрод, аппарат, гидравлическая нагрузка, очистка, шахтная вода.

The experiment results for determinate of rational parameters of electrochemical apparatus, coordination of unit and hydrodynamic characteristics, for active mine water treatment are presented.

Keywords: criterion of perforation, bipolar electrode, apparatus, hydraulic capacity, active treatment, mine water.

Відповідно до Водного кодексу України, підприємства, які відкачують шахтні води, повинні запроваджувати технології по зниженню мінералізації шахтної води перед скиданням у водні об'єкти [1]. Найбільш поширеними методами зниження мінералізації шахтної води на вугледобувних підприємствах України є гіперфільтрація, йонний обмін, електродіаліз [2]. Перед методами з остаточного зниження мінералізації шахтних вод, з метою попередження швидкого "отруєння" фільтраційних матеріалів, мембран апаратів-демінералізаторів, застосовують методи по зниженню концентрації забруднюючих домішок Феруму, Кальцію, Мангану, завислих речовин та ін. Враховуючи високу мінералізацію шахтної води (в середньому 1,6...6,5 г/дм³), актуальним є застосування очищення шахтних вод в апаратах-електрореакторах [3].

В роботі [4] визначено, що очищення шахтної води в апаратах-

¹Робота виконана під керівництвом д.т.н., професора Саблій Л. А.

електрореакторах на біполярних електродах, при різких змінах початкової мінералізації шахтної води (від 1 г/дм³ до 5 г/дм³), мінімізує непродуктивні втрати електричного струму до 44 %, порівняно з обробкою води в апаратах на перфорованих листових електродах. Локальне розташування на полімерній електродній основі біполярних твердих струмопровідних фаз дозволяє зменшити загальну активну електродну площу та збільшити цим густину струму на електродній поверхні. Однак критеріальні умови зниження активної площі електродів, з метою забезпечення більшої густини струму, диктуються їх геометрією та конструктивним виконанням [4].

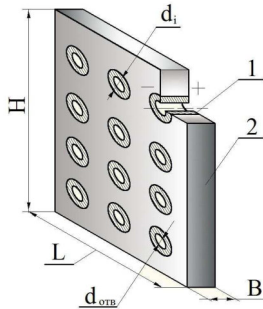


Рис. 1. Схема біполярних струмопровідних фаз:

- 1 – струмопровідна фаза; 2 – полімерна основа електроду; d_i – діаметр твердої струмопровідної фази; $d_{отв}$ – діаметр отвору в твердій струмопровідній фазі;
- H – висота електроду; B – товщина електроду; L – ширина електроду

Рух води ортогонально електродам в апараті забезпечується їх перфорацією. Ступінь перфорації електродів визначає збільшення (зменшення) активної поверхні електродів. Величина активної площі електродів у випадку перфорації прямим круговим циліндром залежить від діаметра отвору перфорації ($d_{отв}$) та товщини (B) електроду і не залежить від кількості отворів. Критерій збільшення (зменшення) активної площі, при перфорації електроду прямим круговим циліндром, можна виразити через (1) для електроду з однією активною стороною, через (2) – з двома активними сторонами (рис. 1 та рис. 2).

$$P_{перф.ел.} = \frac{d_{отв}}{4 \cdot B} \tag{1}$$

$$P^{II}_{перф.ел.} = \frac{d_{отв}}{2 \cdot B} \tag{2}$$

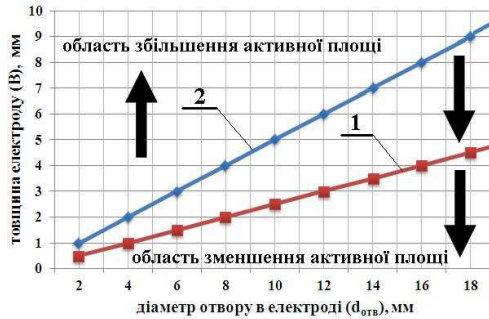


Рис. 2. Критеріальні умови збільшення (зменшення) активної площі електроду від діаметра отвору перфорації і товщини електроду:
 1 – для електроду з однією активною стороною;
 2 – для електроду із двома активними сторонами

За умови $p_{\text{перф.ел.}} < 1$ загальна активна площа електроду – зростатиме, а при $p_{\text{перф.ел.}} > 1$ загальна активна площа електроду буде зменшуватись (рис. 3). При $p_{\text{перф.ел.}}^{\text{II}} < 1$ загальна активна площа електроду збільшується, а при $p_{\text{перф.ел.}}^{\text{II}} > 1$ загальна активна площа електроду зменшується (рис. 4).

Збільшення активної площі електродної поверхні при ортогональному розташуванні електродів до потоку води в апараті та при біполярному їх підключенні призводить до зниження густини струму на них, зниження напруги на ванні, що в кінцевому випадку може призвести до розподілу на електродах недостатнього потенціалу для реалізації окисно-відновних процесів очищення води на електродах.

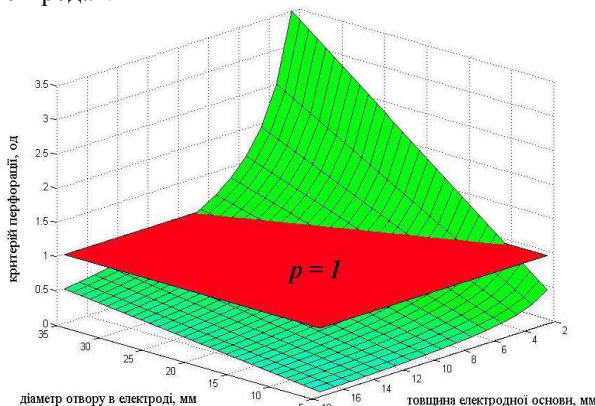


Рис. 3. Залежність критерію перфорації від товщини електроду та діаметра отвору при умові, що електрод з однією активною стороною

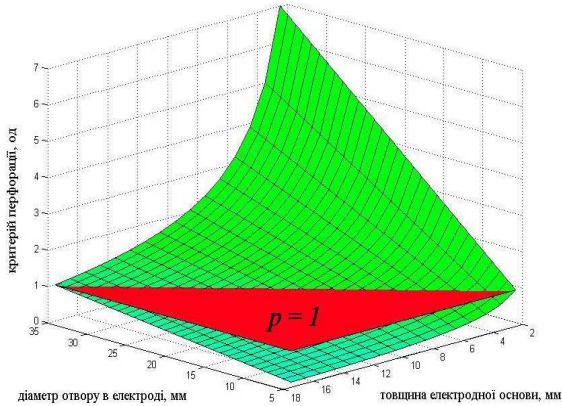


Рис. 4. Залежність критерію перфорації від товщини електроду та діаметра отвору при умові, що електрод з двома активними сторонами

Для випадку з біполярними електродами, які розташовуються на полімерній струмонепровідній основі електродного модуля, критерій зниження активної площі електроду (рис. 5 та рис. 6) можна виразити:

$$p_{\text{бін.}} = \frac{\omega_{el}}{1,57 \cdot N_{\text{max}} \left(\left(\frac{d_i^2 - d_{\text{омв}}^2}{2} \right) + d_{\text{омв}} \cdot B_{\text{бін}} \right)} > 1, \quad (3)$$

де ω_{el} – площа модуля біполярного електроду електродної системи, м²; N_{max} – максимально можлива кількість біполярних твердих струмопровідних фаз, які можна розташувати на струмонепровідній полімерній основі електродів, шт.; d_i – діаметр твердої струмопровідної фази біполярного електроду, м; $d_{\text{омв}}$ – діаметр наскрізного отвору в твердій струмопровідній фазі біполярного електроду, м; $B_{\text{бін}}$ – товщина біполярного електроду, м.

$$N_{\text{max}} \rightarrow \begin{cases} N = \frac{\eta_{\text{парне}}^2}{2} \\ N = \frac{\eta_{\text{непарне}}^2}{2} + 0,5 \end{cases}, \quad (4)$$

де η – розрахункова кількість електродів (відповідно до виразу 5), які можна розташувати на полімерній основі, округлена в меншу сторону, шт.

$$\eta = \frac{L_{mod}}{d_{bip.el.}}, \quad (5)$$

де $L_{mod.}$ – ширина модуля струмонепровідної полімерної основи, м;
 $d_{bip.el.}$ – діаметр одного біполярного електрода, м.

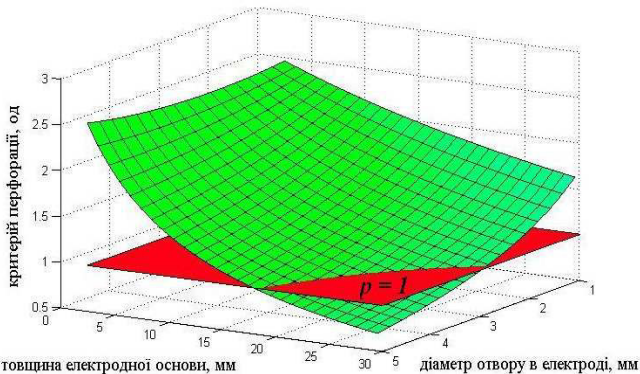


Рис. 5. Залежність критерію перфорації біполярного електрода від діаметра отвору в електроді та товщини електродної основи при діаметрі струмопровідної фази електрода 10 мм

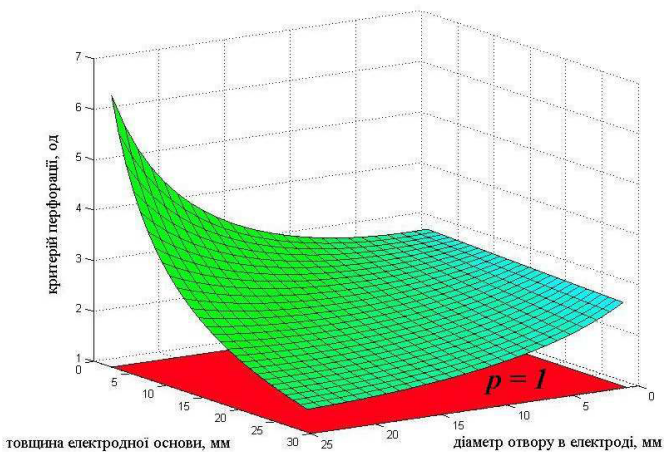


Рис. 6. Залежність критерію перфорації біполярного електрода від діаметра отвору в електроді та товщини електродної основи при діаметрі струмопровідної фази електрода 30 мм

За умови $d_i = d^{неpф}_{ome}$ та $d_{ome} = 5\text{мм}$, і $B_{неpф} = B_{бін}$ виконано чисельний експеримент в розрахунку на електродний модуль розмірами 100x100 мм. Узагальнені результати зведені до табл. 1.

Таблиця 1

Відсоток зниження витрати металу при виготовленні електроду з локально розташованими струмопровідними фазами на полімерній основі порівняно з перфорованим електродом

$d_i = d^{перф}_{отв}$, мм	N_{max} , шт	$B_{перф}$, мм	$B^{max}_{бін}$, мм	Відсоток зниження витрати металу, %
10	50	до 2,5	18	49
15	18	до 3,75	31	59
20	13	до 5	60	54
25	8	до 6,25	100	52
30	5	до 7,5	167	45

$B^{max}_{бін}$ – максимально можлива товщина біполярної перфорованої струмопровідної фази електроду із струмонепровідною полімерною основою, при якій ще спостерігається зменшення активної площі, мм.

В табл. 1 відсоток зниження витрати металу виражає частку металу, необхідного для виготовлення біполярного перфорованого електрода з струмонепровідною полімерною основою, яку можна зекономити порівняно з виготовленням електродів перфорацією металевих пластин прямим круговим циліндром. Згідно результатів чисельного експерименту (табл. 1) видно, що виконання електродів з розташуванням відокремлено на струмонепровідній полімерній основі струмопровідних фаз з наскрізними отворами дає можливість, поруч з забезпеченням зниження активної площі електродів, знизити витрату металу необхідну на виготовлення електродів від 45% до 59%, порівняно з перфорацією металевих листів прямим круговим циліндром.

В апаратах-електроокислювачах раціональними швидкостями руху води в міжелектродному просторі є швидкості 20...100 м/год, а швидкості руху води в отворах електродів підтримують 0,3...1,3 м/с [4]. Такі швидкості обумовлені необхідністю забезпечення швидкого підводу забруднюючих домішок до електродів, та відводу від них продуктів реакцій, забезпечення виносу газових пухирців, створюючи цим більшу фактичну електродну площу, на якій діє струм, та створення турбулізації води, що знижує поляризацію електродів.

В результаті експерименту визначено та приведено в табл. 2, допустиме гідравлічне навантаження (q_{mod}) на електродний модуль, враховуючи діаметр струмопровідних фаз електродів ($d_i=15...30$ мм), діаметр отвору в струмопровідній фазі ($d_{отв}=3...5$ мм), із дотриманням гранично допустимих швидкостей руху води в міжелектродному просторі 20...100 м/год (V^{adm}), швидкостей руху води в отворах електродів 0,3...1,3 м/с ($V_{отв}$). Необхідність очищення шахтних вод із розрахунковою витратою в апараті-електрореакторі з біполярними твердими електродами забезпечується збільшенням електродного модуля в розрахункову кількість раз (N_{mod}).

$$N_{\text{mod}} = \frac{Q}{q_w} = \frac{\omega}{\omega_{\text{mod}}} \quad (6)$$

Q – розрахункова витрата шахтних вод, яка подається насосами головного водовідливу в приймальну камеру очисних споруд, м³/год;

q_w – гідравлічне навантаження на електродний модуль, м³/год;

ω – загальна площа електродів, м²;

ω_{mod} – площа електродного модуля, м².

Таблиця 2

Рациональні значення гідравлічного навантаження на електродний модуль

d_i мм	N_{max} шт	d_{oms} мм	q_{mod} , м ³ /год		V_{oms} , м/сек		$V_{\text{м.ел.}}$, м/год		V_{adm} , м/год	
			$q_{\text{mod}}^{\text{min}}$	$q_{\text{mod}}^{\text{max}}$	$V_{\text{oms}}^{\text{min}}$	$V_{\text{oms}}^{\text{max}}$	$V_{\text{м.ел.}}^{\text{min}}$	$V_{\text{м.ел.}}^{\text{max}}$	$V_{\text{adm}}^{\text{min}}$	$V_{\text{adm}}^{\text{max}}$
15	18	3	0,23	0,59	0,5	1,3	22	59,5	20	100
		5	0,38	0,99	0,30	0,78	38,15	99,19		
20	13	3	0,21	0,43	0,64	1,3	21,16	42,98		
		5	0,28	0,99	0,3	1,08	27,55	99,2		
25	8	3	0,2	0,26	1	1,3	20,35	26,45		
		5	0,20	0,73	0,37	1,3	20,91	73,48		
30	5	3	0,06	0,203	0,5	1,6	6,35	20,34		
		5	0,201	0,46	0,57	1,3	20,14	45,92		

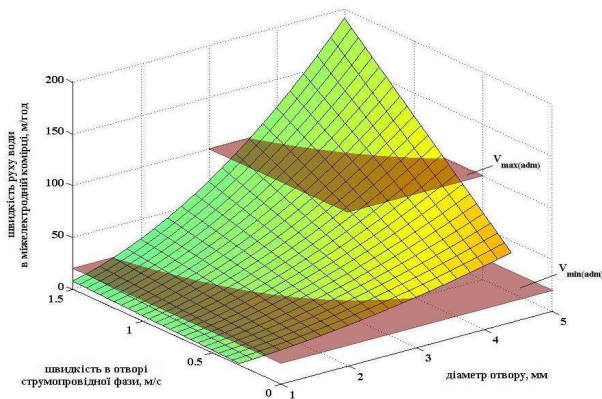


Рис. 7. Залежність швидкості руху води в міжелектродній комірці від діаметра отвору в біполярному електроді та швидкості руху води в електродних отворах (діаметр струмопровідної фази електродів 15 мм)

В результаті проведених експериментальних досліджень отримано залежності швидкості руху води в міжелектродній комірці від діаметра отвору в

струмопровідній фазі електродного модуля та швидкості руху води в отворах електродів (рис. 7...10). Рациональні швидкості руху води в міжелектродній комірці (20...100 м/год), при швидкостях руху води в отворах струмопровідних фаз електродів 0,3...1,3 м/с, обмежені горизонтальними площинами рівня на діаграмах (рис. 7...10).

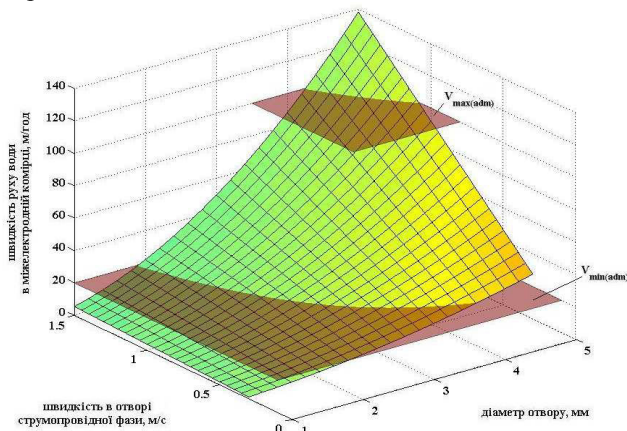


Рис. 8. Залежність швидкості руху води в міжелектродній комірці від діаметра отвору в біполярному електроді та швидкості руху води в електродних отворах (діаметр струмопровідної фази електродів 20 мм)

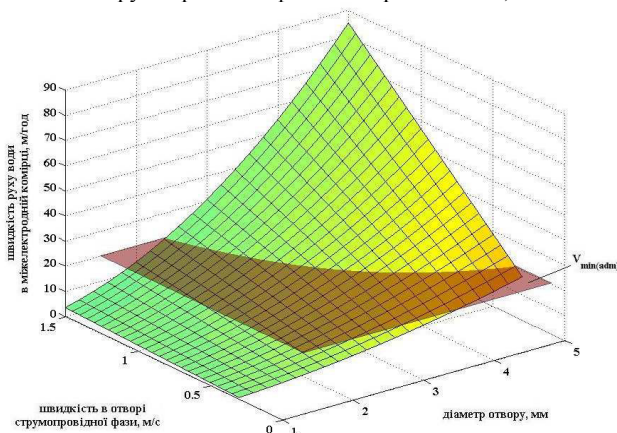


Рис. 9. Залежність швидкості руху води в міжелектродній комірці від діаметра отвору в біполярному електроді та швидкості руху води в електродних отворах при діаметрі струмопровідної фази електродів 25 мм

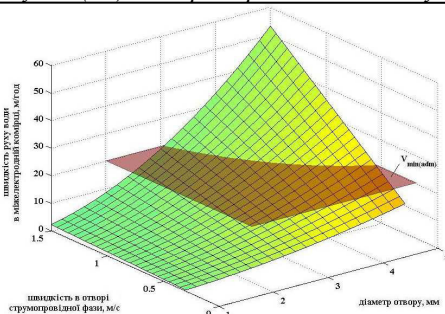


Рис. 10. Залежність швидкості руху води в міжелектродній комірці від діаметра отвору в біполярному електроді та швидкості руху води в електродних отворах при діаметрі струмопровідної фази електродів 30 та 35 мм

Отже, вибір раціональних технологічних параметрів (табл. 2) в апаратах-електрореакторах із біполярними електродами для очищення шахтних вод (гідравлічного навантаження на електродний модуль, швидкості руху води в міжелектродній комірці, швидкості руху води в отворах електродів) диктується кількістю струмопровідних фаз на струмонепровідній полімерній основі, діаметрами струмопровідних фаз, діаметрами отворів в струмопровідних фазах (рис. 7...10), що є досить важливим при подальшій оцінці електричних характеристик роботи апаратів.

1. Водний кодекс України – Редакція від 19.01.2012 із змінами від 22.12.2011, ВВР, 2012, № 29, ст.345 // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 1995. – № 24. – Ст.189.
2. Физико-химические основы технологии деминерализации шахтных вод: Монография / [Гребенкин С. С., Костенко В. К., Матлак Е. С. и др.]; под общ. ред. Костенко В. К. – Донецк : ВИК, 2008. – 287 с.
3. Россінський В. М. Технологія фізико-хімічного очищення шахтних вод в електрореакторах з біполярними електродами / В. М. Россінський // Матеріали науково-практичної конф. «Вода та довкілля» ІХ Міжнар. Форуму «AQUA UKRAINE – 2011», Київ, 2011. – С. 221-222.
4. Россінський В. М. Зниження непродуктивних втрат струму в апаратах-електрореакторах для очищення шахтних вод / В. М. Россінський // Матеріали практичної конференції "Сучасні проблеми охорони довкілля та раціонального використання ресурсів у водному господарстві", конф., 2-6 квітня 2012 року, м. Миргород / ред. кол. П. Д. Хоружий, І. В. Карабанова. – К. : Т-во "Знання України", 2012. – С. 36-38.
5. Россінський В. М. Критерій перфорації електродів апаратів-електрореакторів для очищення шахтних вод / В. М. Россінський // Матеріали науково-практичних конференцій "Безпека середовища життєдіяльності людини" та "Актуальні проблеми харчування та шляхи збереження здоров'я в сучасних екологічних умовах". Травень-червень 2012 р., Крим / ред. кол.: Л. П. Дерев'янка, Н. О. Корнута, І. В. Карабанова. – К. : Т-во "Знання України", 2012. – С.17-20.
6. Яковлев С. В. Технология электрохимической очистки воды / С. В. Яковлев, И. Г. Краснобородько, В. М. Рогов. – Л. : Стройиздат, Ленингр. Отдние, 1987. – 312 с.

Рецензент: д.т.н., професор Филипчук В. Л. (НУВГП)