

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПЛЕКСНОГО ВИКОРИСТАННЯ АБСОРБЕНТІВ, ГЕНЕРОВАНИХ В ЕЛЕКТРОХІМІЧНОМУ РЕАКТОРІ, ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОВІТРЯ ВІД СІРКОВОДНЮ

Л. І. Лейбович, П. А. Пацурковський

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
пр. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025, Україна. E-mail: recycle.lev@gmail.com

Досліджено оптимальні параметри роботи очисного устаткування при сумісному використанні генерованих в електрохімічному реакторі аноліту та католіту для видалення сірководню з повітря. Представлено принципову схему установки очистки повітря від сірководню абсорбційно-електрохімічним методом. Експериментально досліджено залежність ефективності видалення сірководню з повітря від окисно-відновлювального потенціалу (ОВП) аноліту та католіту в абсорбційно-електрохімічній установці. Проаналізовано вплив матеріалу аноду на різницю потенціалів на електродах електрохімічного реактору. На основі досвіду експлуатації очисної установки удосконалено конструкцію масообмінного апарату та електрохімічного реактора. Вперше встановлено, що оптимальна ефективність видалення сірководню з повітря абсорбційно-електрохімічним методом досягається при значеннях ОВП католіту від -250 мВ до -300 мВ та аноліту від +250 мВ до +300 мВ. Встановлено, що сумісне використання генерованих в електрохімічному реакторі аноліту та католіту дозволяє на 15-18% підвищити ефективність очищення викидів від сірководню. Експериментально визначено, що максимальна різниця напруги між електродами не повинна перевищувати 5,0...5,5 В. Отримано регресійні залежності для визначення ефективності очищення повітря від сірководню в залежності від ОВП аноліту та католіту.

Ключові слова: сірководень, абсорбент, екологічна безпека, електрохімічний реактор.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ АБСОРБЕНТОВ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ В ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ РЕАКТОРЕ, ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ СЕРОВОДОРОДА

Л. И. Лейбович, П. А. Пацурковский

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова
пр. Героев Украины, 9, г. Николаев, 54025, Украина. E-mail: recycle.lev@gmail.com

Исследованы оптимальные параметры работы очистного оборудования при совместном использовании генерируемых в электрохимическом реакторе анолита и католита для удаления сероводорода из воздуха. Представлена принципиальная схема установки очистки воздуха от сероводорода абсорбционно-электрохимическим методом. Экспериментально исследована зависимость эффективности удаления сероводорода из воздуха от окислительно-восстановительного потенциала анолита и католита в абсорбционно-электрохимической установке. Проанализировано влияние материала анода на разность потенциалов на электродах электрохимического реактора. На основе опыта эксплуатации очистной установки усовершенствована конструкция массообменного аппарата и электрохимического реактора. Впервые установлено, что оптимальная эффективность удаления сероводорода из воздуха абсорбционно-электрохимическим методом достигается при значениях ОВП католита от -250 мВ до -300 мВ и анолита от +250 мВ до +300 мВ. Установлено, что совместное использование генерируемых в электрохимическом реакторе анолита и католита позволяет на 15-18% повысить эффективность очистки выбросов от сероводорода. Экспериментально установлено, что максимальная разница напряжения между электродами не должна превышать 5,0 ... 5,5 В. Получены регрессионные зависимости для определения эффективности очистки воздуха от сероводорода в зависимости от ОВП анолита и католита.

Ключевые слова: сероводород, абсорбент, экологическая безопасность, электрохимический реактор.

АКТУАЛЬНІСЬ РОБОТИ. Недостатня ефективність очисних методів, їх дорожнеча, зростання та накопичення відходів, а також відсутність достатньої кількості підприємств з переробки відходів призводять до збільшення викидів шкідливих речовин та як наслідок погіршення екологічного стану навколишнього середовища. Однією з таких небезпечних речовин є сірководень, а основним джерелом його викидів у містах є каналізаційні мережі.

Останні роки автори активно займаються дослідженням абсорбційно-електрохімічного методу очищення повітря від сірководню. Результати досліджень представлено в роботах [1-7]. В роботі [7] за результатами експериментальних

досліджень встановлено, що ефективність видалення сірководню з повітря при використанні аноліту в якості абсорбенту складає від 64% до 75%, а католіту – 74...82%. Враховуючи, що максимальна концентрація сірководню в грабельному приміщенні може сягати понад 100 мг/м³ вищезазначені показники ефективності є недостатніми. Таким чином, дослідження комплексного використання абсорбентів, генерованих в електрохімічному реакторі для очистки повітря від сірководню, а також параметрів роботи очисного устаткування є актуальними.

Метою роботи є дослідження оптимальних параметрів роботи очисного устаткування та ефективності сумісного використання генерованих

Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування

в електрохімічному реакторі аноліту та католіту для видалення сірководню з повітря. Поставлена мета досягається шляхом проведення натурних досліджень очищення повітря від сірководню на КНС-1 м. Вознесенськ.

МАТЕРІАЛІ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Достатньо перспективним напрямком очищення повітря від сірководню на підприємствах харчової промисловості, сільського господарства (наприклад, птахофабрики) та комунального господарства (каналізаційні мережі населених пунктів) є використання абсорбційно-електрохімічних установок [6, 7].

Особливістю роботи абсорбційно-електрохімічної установки очищення повітря від сірководню є одночасне протікання наступних фізико-хімічних процесів:

- абсорбція сірководню з повітря водними розчинами NaOH з утворенням Na₂S та NaHS;

- окислювання Na₂S та NaHS з утворенням колоїдної сірки на аноді та регенерація NaOH на катоді.

В роботах [6, 7] гідроксид натрію генерувався на катоді зі звичайної технічної води, яка містила деяку кількість хлориду натрію. Одночасно, треба відмити факт що на аноді в діапазоні рН від 3 до 7 в основному утворюється гіпохлорит (HClO₄) [6, 7] при наявності достатньої кількості NaCl.

Тобто, в електрохімічному реакторі [7] генерується хімічна сполука (HClO₄), яка може досить ефективно розкладати сірководень. Однак це потребує експериментальних досліджень, які підтверджують вищезазначене припущення.

Принципова схема та загальний вигляд абсорбційно-електрохімічної установки очистки повітря від сірководню наведені на рис.1 та рис.2.

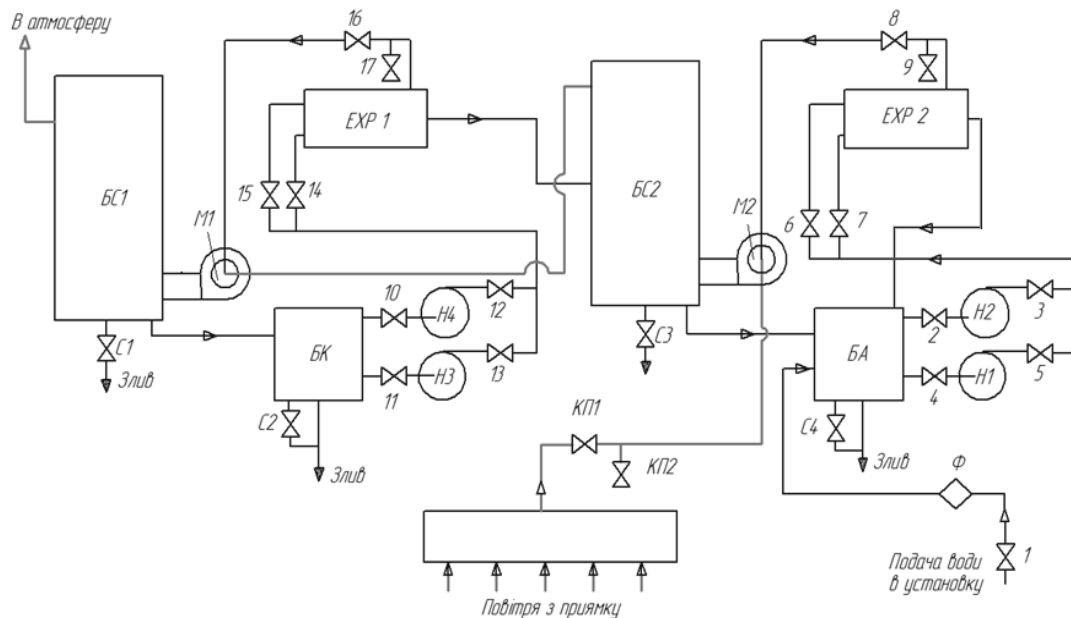


Рисунок 1 – Принципова схема очистки повітря абсорбційно-електрохімічним методом:

БА – бак аноліту; БК – бак католіту; БС1, БС2 – сепараційні баки; М1, М2 – масообмінні апарати; EXP1, EXP2 – електрохімічні реактори; Н1, Н2, Н3, Н4 – насоси; С1, С2, С3, С4 – клапани зливні; КП1, КП2 – клапани повітряні; Ф – фільтр; 1...17 – клапани запірні.

Принцип роботи установки заснований на електрохімічному перетворенні розчинених у воді солей в абсорбенти-каталізатори розкладу сірководню. Повітря з приямка грабельного відділення надходить у масообмінний апарат М2. Вода з системи міського водопостачання через клапан 1 і фільтр надходить у бак аноліту, а потім насосом Н1 (або Н2) через клапани 4, 5, 6 (або 2, 3, б) направляється в електрохімічний реактор EXP2.

В електрохімічному реакторі EXP2 вода розділяється на два потоки. Перший (основний) подається через клапани 8 на всмоктування масообмінного апарату М2, а потім у сепараційний бак БС2. З баку БС2 відсепарована рідина

зливається в бак аноліту. Другий потік обробленої води подається на другу ступінь очищення масообмінного апарату. Утворення абсорбентів у воді відбувається шляхом її циркуляції через електрохімічний реактор. У електрохімічний реактор EXP1 вода надходить з баку католіту БК насосом Н3 (або Н4). З EXP1 основний потік через клапан 16 подається у масообмінний апарат М1, а інший потік із властивостями аноліту повертається в сепараційний бак БС2. Руїнування утворених продуктів реакції абсорбенту з сірководнем та регенерація абсорбенту відбуваються у електрохімічному реакторі.



Рисунок 2 – Установа очистки повітря від сірководню абсорбційно-електрохімічним методом

Надійність та ефективність роботи установки абсорбційно-електрохімічного очищення повітря від сірководню залежить від ефективності роботи:

- масообмінних апаратів М1, М2;
- електрохімічних реакторів EXP1, EXP2.

Отже, з метою підвищення ефективності роботи масообмінних апаратів М1 та М2 було розроблено та отримано патент на вдосконалену конструкцію масообмінного апарату [8].

Загальний вигляд вдосконаленого масообмінного апарату наведено на рис. 3.

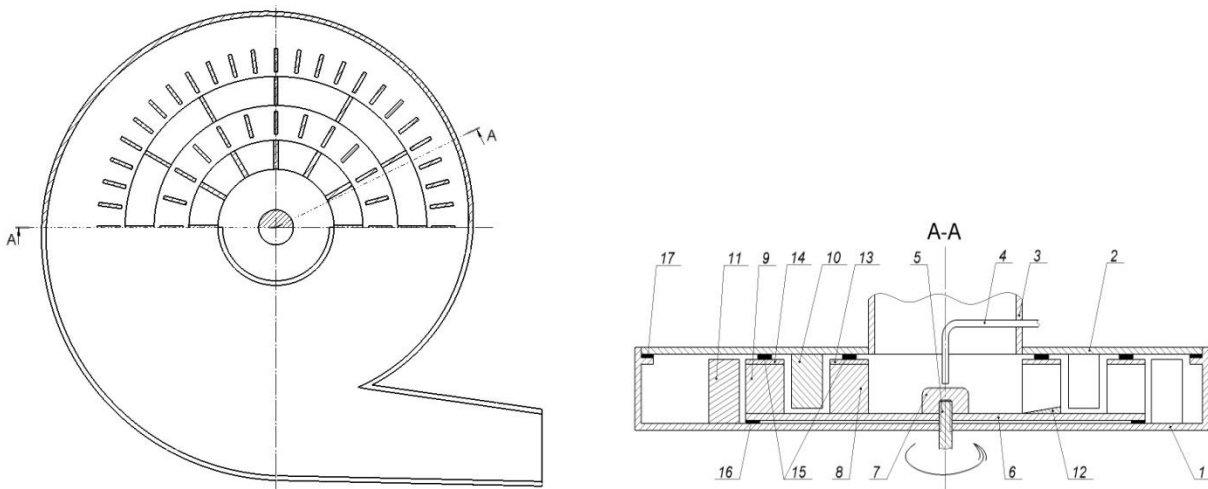


Рисунок 3 – Загальний вигляд масообмінного апарату

Масообмінний апарат (рис. 3) складається з корпусу 1 та кришки 2 зі всмоктуючим патрубком 3, через котрий заведена трубка 4. Всередині корпусу розміщено привідний вал 5, на котрому закріплено диск 6, в центрі котрого знаходиться ступиця 7. В напрямку від ступиці до периферії розташовано чотири ряди лопаток: перший та третій ряд – вентиляторні лопатки 8 та 9, котрі закріплені на диску, другий ряд – розпилювальні лопатки 10, котрі закріплені на кришці, четвертий ряд – розпилювальні лопатки 11, котрі закріплені на корпусі. Диск має потовщення 12 в області першого ряду вентиляторних лопаток. Кожен ряд вентиляторних лопаток поєднано між собою кільцевими дисками 13 та 14. Всередині корпусу встановлено ущільнення 15, 16 та 17.

Масообмінний апарат працює наступним чином. На ступицю 7 диска 6, закріплену на привідному валу 5, через трубку 4 подається рідина на розпилення. Рідина, потрапляючи на ступицю та зриваючись з неї під дією відцентрових сил у вигляді крапель, рухається по периферії до зіткнення з послідовно розташованими рядами вентиляторних (8,9) та розпилювальних лопаток (10,11). Потрапляння усього об'єму рідини на лопатки 10 досягається за рахунок потовщення 12 диска 6. З метою запобігання перетікань потоку газу встановлено ущільнення 15, 16, 17.

Таким чином, масообмінний апарат, зображений на рис.3, забезпечує:

- двократне монодисперсне розпилення рідини розпилювальними лопатками в об'ємі пристрою;

Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування

- оптимальний коефіцієнт зрошення за рахунок потрапляння усього об'єму рідини, що подається в пристрій, на розпилювальні лопатки;

- підвищення ефективності процесів, що проводяться, за рахунок зростання поверхні контакту фаз.

Наступний крок удосконалення очисної установки полягав у дослідженні параметрів роботи

та конструкції електрохімічного реактору, надійність роботи якого залежить від довговічності електродів. Досвід експлуатації вказує, що найбільш частою є відмова електрохімічного реактору, яка виникає на підставі руйнування електродів (рис.4).

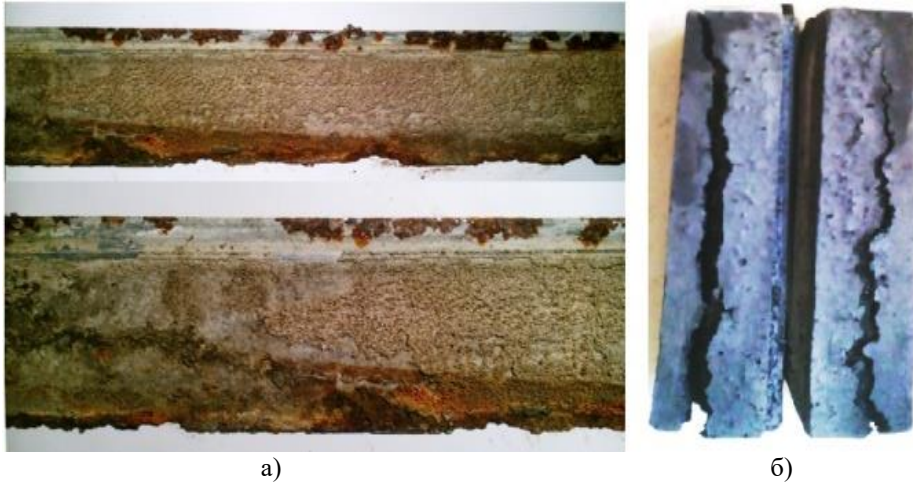


Рисунок 4 – Стан деяких електродів електрохімічного реактору установки абсорбційно-електрохімічного очищення після 4-х років експлуатації: а – катод, б – анод

Подібне руйнування електродів (рис.4) у першу чергу залежить від різниці потенціалів на електродах. Підвищення тривалості роботи електродів потребує більш ретельного дослідження електрохімічних процесів з метою оптимізації параметрів електричного струму в електрохімічному реакторі.

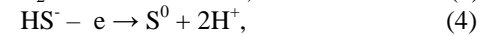
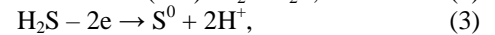
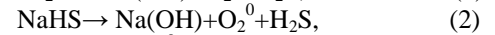
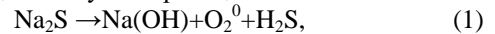
Значення різниці потенціалів на електродах залежить від фізико-хімічних властивостей водних розчинів хімічних сполук та матеріалу самих електродів.

Необхідність проведення досліджень різниці потенціалів на електродах виникла на підставі задачі оптимізації матеріалу аноду. Згідно даних робіт [9-11] ефективність та енергозатрати в електрохімічному процесі очищення води від сірководню залежить від різниці потенціалів на електродах електрохімічного реактору. В свою чергу різниці потенціалів на електродах електрохімічного реактору залежить від матеріалу аноду. Отже, визначення різниці потенціалів на електроді в процесі окиснювання сірководню вкрай важливе, перш за все для аноду.

Значення різниці потенціалів на катоді досліджено достатньо повно. Наприклад, згідно даних [12] перенапряга на катоді для водних розчинів гідроксиду натрію становить: на платині

– 0 В, на нікелі – 0,35 В, на залізі – 0,25 В. Тобто, для підвищення надійності катодів доцільно виконувати його з нержавіючої сталі з невеликим змістом нікелю та хрому. При цьому перенапряга катоді буде близькою до 0,25 В.

В водних розчинах сірководень руйнується на аноді згідно наступних реакцій:



Реакції (1-4) можливі тільки у тому випадку, коли є достатня різниця потенціалів між електродами електрохімічного реактору. Залежність окисно-відновлювального потенціалу на катоді при відновленні водню від фізичних властивостей матеріалу достатньо добре вивчена [12].

В роботі [12] для процесу окиснювання сірководню у стічної воді запропоновані наступні матеріали для аноду – мідь (Cu), графіт (C), свинець (Pb) та карбід вольфраму (WC). На підставі рекомендацій роботи [12] нами було експериментально визначено значення окисно-відновлювального потенціалу (ОВП) на аноді для зазначених матеріалів (табл. 1).

Таблиця 1 – Залежність окисно-відновлювального потенціалу від матеріалу анода

Матеріал анода	Окисно-відновлювальний потенціал, мВ
C	190
WC	205
Pb	380
Cu	430

Аналіз даних табл.1 показує, що мінімальна різниця потенціалів на аноді існує на електродах, виготовлених з графіту та карбіду вольфраму. Однак, вартість анодів з карбіду вольфраму достатньо висока, тому доцільно використовувати у якості матеріалу аноду – графіт. При цьому максимальне значення щільності струму на графітовому аноді при окиснюванні сірководню не повинна перевищувати 20...25 А/м². Дане обмеження значно підвищує надійність роботи електрохімічного реактору.

На підставі визначення різниці потенціалів на катоді та аноді було виконано модернізацію

електрохімічних реакторів абсорбційно-електрохімічної установки очищення повітря від сірководню, а також проведено експериментальну перевірку на діючій установці. Крім того було встановлено, що більш доцільним є використання вертикального компонування електрохімічного реактора з напрямком руху потоків рідини в каналах знизу в верх.

Визначення концентрації сірководню у повітрі здійснювалось за допомогою газоаналізатора ІСС. Основні технічні характеристики даного газоаналізатора приведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Основні технічні характеристики газоаналізатора ІСС

Характеристика, розмірність	Величина
Діапазон контролю, мг/м ³	0...200
Поріг чутливості, мг/м ³	1
Основна відносна похибка, %	±20%
Температура контролюваного середовища, °С	-25...+50
Струм споживання, мА	7,5
Напруга живлення, В	9

Для визначення ОВП католіту та аноліту використовувався прилад мультимонітор РНТ-028 з діапазоном вимірювання від 0 до ±1999 мВ та функцією автоматичної температурної компенсації від 0 до 50 °С.

В рамках дослідження оптимальних умов роботи модернізованої установки абсорбційно-електрохімічного очищення повітря від сірководню

проведено ряд експериментальних досліджень, згідно яких отримано залежність ефективності очищення повітря від окисно-відновлювального потенціалу абсорбентів.

Данні експериментальних досліджень ефективності очищення повітря каналізаційної насосної станції від сірководню наведені на рис. 5.

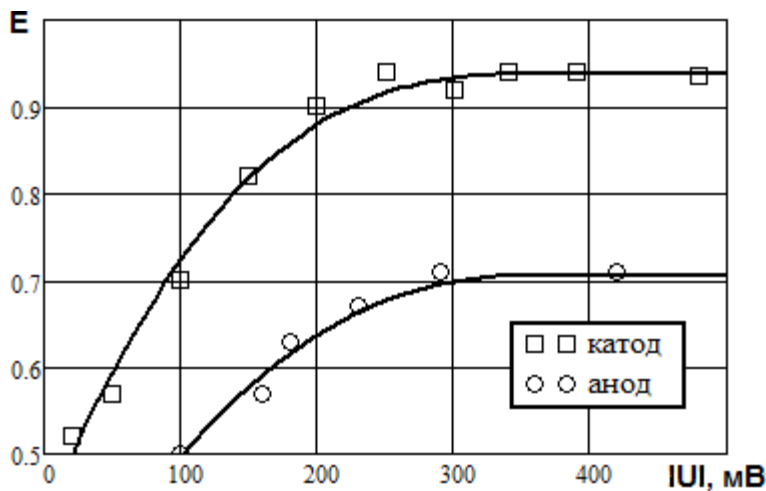


Рисунок 5 – Залежність ефективності очищення повітря від сірководню від окисно-відновлювального потенціалу

Аналіз рис.5 вказує на те, що оптимальне значення ОВП для католіту знаходиться в межах від -250 мВ до -300 мВ та аноліту +250 мВ до +300 мВ. Видно, що подальше підвищення ОВП абсорбенту є недоцільним, через вкрай низьке підвищення ефективності. Крім того, зростання ОВП абсорбентів потребує підвищення напруги на електродах, що призводить до зниження ресурсу роботи ЕХР та підвищує споживання електроенергії.

Ефективність очищення повітря від сірководню може бути визначена на підставі наступних регресійних залежностей в діапазоні зміни ОВП від 0 до 350 мВ при використанні наступних абсорбентів в масообмінному апараті:

- католіт

$$E_k = 0,42 + 3,93 \cdot 10^{-3} \cdot U - 9,73 \cdot 10^{-6} \cdot U^2 + 7,77 \cdot 10^{-9} \cdot U^3,$$

- аноліт

$$E_a = 0,264 + 2,83 \cdot 10^{-3} \cdot U - 5,28 \cdot 10^{-6} \cdot U^2 + 2,29 \cdot 10^{-9} \cdot U^3,$$

Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування

Похибка апроксимації експериментальних даних не більше $\pm 3,4\%$.

Результати експериментальних досліджень послідовного використання абсорбентів аноліту та католіту наведено в табл.3.

Таблиця 3 – Результати вимірювань основних параметрів при послідовному використанні в якості абсорбенту аноліту та католіту

№ з/п	Температура, °С	Початкова концентрація H ₂ S, мг/м ³	ЕРС католіту до очистки, мВ	Кінцева концентрація H ₂ S, мг/м ³	ЕРС католіту після очистки, мВ	Ефективність очистки, %
1	14	36	-251	2,8	-208	92,2
2	18	51	-262	2,1	-211	95,9
3	19	58	-254	1,7	-196	97
4	13	42	-253	2,5	-206	94
5	18	55	-257	2,4	-202	95,6

Ефективність очистки повітря від сірководню при послідовному використанні абсорбентів аноліту та католіту складає від 92% до 97%.

Крім того, було встановлено, що максимальна різниця напруги між електродами не повинна перевищувати 5,0...5,5 В.

ВИСНОВКИ. В результаті проведених досліджень отримано наступне:

- встановлено, що сумісне використання генерованих в електрохімічному реакторі аноліту та католіту дозволяє на 15-18% підвищити ефективність очищення викидів від сірководню;

- визначено оптимальні параметри роботи очисного устаткування, а саме те, що оптимальна ефективність видалення сірководню з повітря абсорбційно-електрохімічним методом досягається при значеннях ОВП католіту від -250 мВ до -300 мВ та аноліту від +250 мВ до +300 мВ, а також оптимальне значення різниці потенціалів на електродах електрохімічного реактора знаходиться в межах 5...5,5 В.

ЛІТЕРАТУРА

1. Лейбович Л. І., Пацурковський П. А. Визначення санітарно-захисної зони каналізаційної насосної станції. *Науковий журнал «Екологічна безпека»*. Кременчук, 2016. Вип.2 (22). С. 59–64.

2. Пацурковський П. А., Лейбович Л. І. Моделирование динамики поступления сероводорода в окружающую среду при работе канализационных насосных станций. *Эколого-правовые и экономические аспекты экологической безопасности регионов: материалы X Международной научно-практической конференции* (г. Харьков, 20–21 октября 2015 г.). Харьков: ХНАДУ, 2015. С. 35–37.

3. Лейбович Л. І., Пацурковський П. А. Моделирование динамики поступления сероводорода в окружающую среду при работе канализационной насосной станций. *Вестник Кременчугского национального университета имени Михаила Остроградского*. Кременчук, 2016. Вып. 3 (98), ч.1. С. 100–105.

4. Лейбович Л. І., Пацурковський П. А. Окисление сероводорода во влажном воздухе. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. Харьков, 2015. № 71. С. 85–90.

5. Leybovych L. I., Patsurkovskiy P. A. Influence of Water Salinity on Air Purification from Hydrogen Sulfide. *Problemele Energeticii Regionale*. Kishinev, 2015. № 3 (29). Pp. 92–99.

6. Пацурковський П. А., Лейбович Л. І. Опыт эксплуатации установки абсорбционно-электрохимической очистки воздуха от сероводорода. *Проблеми екологічної безпеки: матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції* (м. Кременчук, 12–14 жовтня 2016 р.). Кременчук: КрНУ, 2016. С.83.

7. Пацурковський П. А. Удосконалення екологічно безпечного абсорбційно-електрохімічного методу очищення повітря від сірководню: дис. ... канд. техн. наук: 21.06.01 / Кременчуцький національний ун-т. Кременчук, 2017. 182 с.

8. Розпилювач рідини: пат. 117728 Україна: МПК (2006) B01F5/00, B01F5/18 (2006.01). №201613289; заявл. 26.12.2016; опубл. 10.07.2017, Бюл. № 13. 3 с.

9. Линевиц С. Н. Очистка природных и сточных сероводородсодержащих вод. Новочеркасск: Новочеркасский политехнический институт. 1979. 49 с.

10. Линевиц С. Н. Комплексная обработка и рациональное использование сероводородсодержащих природных и сточных вод. М.: Стройиздат, 1987. 88 с.

11. Алферова Л. А., Титова Г. А. Применение катализаторов при очистке сточных вод от сероводорода и его натриевых солей. М.: Стройиздат, 1968. С. 67-75.

12. Зарицкий С. А., Сучков В. П., Шляпников В. А. Технология электрохимических производств. М.: Высшая школа, 1970. 424 с.

INVESTIGATION OF EFFICIENCY OF ABSORBENTS GENERATED IN ELECTROCHEMICAL REACTOR COMPLEX APPLICATION FOR AIR PURIFICATION FROM HYDROGEN SULFIDE

L.I. Leibovich, P.A. Patsurkovskiy

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

prosp. Geroev Ukrainy, 9, Nikolaev, 54025, Ukraine. E-mail: recycle.lev@gmail.com

Purpose. The optimal parameters of the purifying equipment and the efficiency of the joint use of anolyte and catholyte for hydrogen sulfide removing from the air were investigated. **Methodology.** Studies of the efficiency of air purification from hydrogen sulfide were made experimentally in the sewage pumping station №1 in Voznesensk city. The experimental studies are based on measuring of hydrogen sulfide concentration, oxidation-reduction potential and pH. **Results.** A schematic diagram of the installation for air purification from hydrogen sulfide by the absorption-electrochemical method is presented. Results of the experimental studies are presented as a function of air purification efficiency from oxidation-reduction potential. It has been established that the joint use of anolyte and catholyte generated in an electrochemical reactor allows increasing the efficiency of air purification from hydrogen sulfide emissions by 15-18%. It was experimentally established that the maximum voltage difference between the electrodes should not exceed 5.0 ... 5.5 V. The values of the oxidation-reduction potential at the anode for various materials were determined and the expediency of using graphite was justified according to the results of experimental studies. **Originality.** It was established that the optimum efficiency of hydrogen sulfide removal from air by the absorption-electrochemical method is achieved with the oxidation-reduction potential values of catholyte from -250 mV to -300 mV and anolyte from +250 mV to +300 mV. **Practical value.** Optimal conditions for the absorption-electrochemical setup operation were determined. Design of mass transfer apparatus and electrochemical reactor were improved on the basis of operating experience of the treatment plant and research results. Regression equations for determining efficiency of air purification from hydrogen sulfide, depending on the anolyte and catholyte oxidation-reduction potential are obtained. *References 12, tables 3, figures 5.*

Key words: hydrogen sulfide, absorbent, environmental safety, electrochemical reactor.

REFERENCES

- Leybovich L.I., Patsurkovskiy P.A. (2016), "Determination of sewage pumping station sanitary protection zone". *Naukoviy zhurnal «Yekologichna bezpeka»*, no.2, pp. 59–64, Kremenchuk, Ukraine.
- Patsurkovskiy P.A., Leybovich L.I. (2015), "Modeling the dynamics of hydrogen sulfide release into the environment during the sewage pumping stations operation". *Ekologo-pravovye i ekonomicheskie aspekty ekologicheskoy bezopasnosti regionov: materialy X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. pp. 35–37. Kharkov, Ukraine.
- Leybovich L.I., Patsurkovskiy P.A. (2016), "Modeling of hydrogen sulfide dynamic inflow in the environment during sewage pumping station operation". *Visnik KrNU*, no.3 (part 1), pp. 100–105, Kremenchuk, Ukraine.
- Leybovich L.I., Patsurkovskiy P.A. (2015), "Hydrogen sulfide oxidation in humid air". *Vestnik Kharkovskogo natsionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta*, no.71. pp. 85–90, Kharkov, Ukraine.
- Leybovich L.I., Patsurkovskiy P.A. (2015), Influence of Water Salinity on Air Purification from Hydrogen Sulfide. *Problemele Energeticii Regionale*, no.3 (29), pp. 92–99, Kishinev, Moldova.
- Patsurkovskiy P.A., Leybovich L.I. (2016), "Operating experience of the installation of absorption-electrochemical air purification from hydrogen sulfide". *Problemi ekologichnoi bezpeki: materialy XIV Mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferentsii*, p.83, Kremenchuk, Ukraine.
- Patsurkovskiy P.A. (2017), "Improvement of environmentally safe absorptively-electrochemical method of air purification from hydrogen sulfide", dissertation of the candidate of technical sciences, 182 p., Kremenchuk, Ukraine.
- "Liquid sprayer": patent 117728 Ukraine: IPC (2006) B01F5/00, B01F5/18 (2006.01). №201613289; declared 26.12.2016; published 10.07.2017, Bull. № 13. 3 с.
- Linevich S.N. (1979), "Purification of natural and waste hydrogen sulfide waters". 49 p., Novocherkassk, Russia.
- Linevich S.N. (1987), "Complex processing and rational use of hydrogen sulfide-containing natural and waste waters". 88 p., Moscow, Russia.
- Alferova L.A., Titova G.A. (1968), "Using of catalysts in the wastewater treatment from hydrogen sulfide and its sodium salts", pp. 67-75, Moscow, Russia.
- Zaritsky S.A., Suchkov V.P., Shlyapnikov V.A. (1970), "Electrochemical production technology", 424 p., Moscow, Russia.