

УДК 681.5

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ЗА
ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОЛІЗНОЇ УСТАНОВКИ****Лісовець С. М., Томашевський Д. І.**

Київський національний університет технологій та дизайну

Мета. Підвищення ефективності очищення стічних вод від певних органічних забруднень і важких металів шляхом визначення оптимальних значень температури стічних вод і питомого струму, який через ці стічні води протікає.

Методика. Використання планування експерименту на основі композиційних ортогональних планів другого порядку.

Результати. Розроблені моделі другого порядку, які дозволяють для стічних вод текстильної промисловості розраховувати такі значення температури стічних вод і питомого струму, який через ці стічні води протікає, щоб досягти максимального ступеня видалення з цих вод певних органічних з'єднань і важких металів на одиницю витраченої на це електричної енергії.

Наукова новизна. Встановлено, що ступень видалення з стічних вод текстильної промисловості певних органічних з'єднань і важких металів на одиницю витраченої на це електричної енергії може залежати як від температури цих стічних вод, так і від питомого струму, який через ці стічні води протікає.

Практична значимість. Отримані рекомендації щодо налагодження режимів роботи існуючих електролізних установок або електролізних установок, які тільки створюються таким чином, щоб підвищити їх енергоефективність.

Ключові слова: важкі метали, електролізна установка, контур керування, органічні з'єднання, стічні води

Як відомо, вода грає вирішальну роль у багатьох процесах, які протікають як в природі, так і в забезпеченні життєдіяльності людини. Зокрема, в промисловості вода застосовується як сировина і джерело енергії, як холодоагент, розчинник, екстрагент, для транспортування сировини і матеріалів тощо. Внаслідок антропогенного впливу природна вода забруднюється різними речовинами, що приводить до погіршення її якості. Необхідно відмітити наступні тенденції в зміні якості природних вод під впливом господарської діяльності людини: зниження рН прісних вод в результаті їх забруднення сірчаної і азотною кислотами з атмосфери, збільшення умісту в них сульфатів і нітратів; підвищення умісту іонів кальцію, магнію, кремнію в підземних і річних водах внаслідок вимивання і розчинення підкисленими дощовими водами карбонатних і інших гірських порід; підвищений уміст в природних водах іонів важких металів, насамперед свинцю, кадмію, ртуті, миш'яку і цинку, а також фосфатів $> 0,1$ мг/л, нітратів, нітритів тощо; підвищення утримання солей в поверхневих і підземних водах в результаті їх

надходження із стічними водами, із атмосфери і за рахунок змиву твердих відходів і так далі [1-5].

Загалом процес видалення із стічних вод забруднюючих речовин може включати в себе наступні методи: відстоювання, фільтрація, коагуляція, магнітний вплив, ультразвуковий вплив, адсорбція, нейтралізація, відновлення, десорбція, іонний обмін, перегонка і ректифікація, флотація, флокуляція, зворотний осмос і ультрафільтрація, концентрування, утворення осадів, окислення хімічними реагентами, електрохімічне очищення.

Одним з перспективних методів очищення стічних вод є електрохімічне очищення, яке ґрунтується на електролізі промислових стічних вод шляхом пропускання через них постійного електричного струму [6-8].

Постановка завдання

Під час електролізу забруднюючі речовини, які знаходяться в стічних водах, практично повністю розпадаються з утворенням CO_2 , NH_3 і води або утворюють більш прості і нетоксичні речовини, які можна видаляти іншими методами. А іони важких металів, які знаходяться в стічних водах, видаляють за допомогою катодного відновлення із отриманням осадів, з переведенням забруднюючого компонента в менш токсичні з'єднання або в легко виводиму з води форму. Відповідно до цього, для електролізу використовуються електролізні установки, загальна будова яких показана на рис. 1.

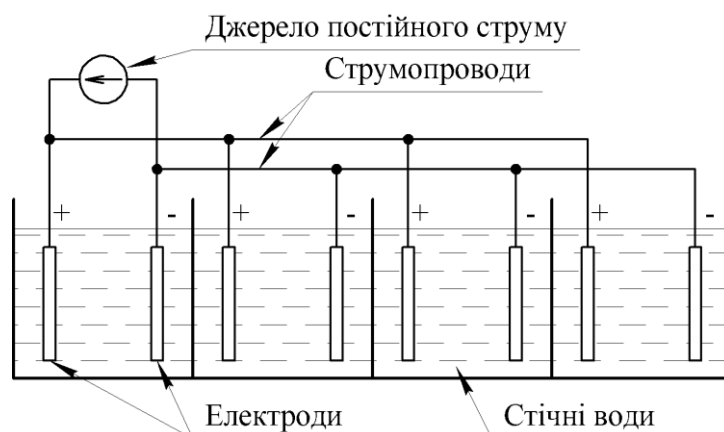


Рис. 1. Загальна будова електролізної установки

По-перше, до складу електролізної установки входить джерело постійного струму, яке має вихідну напругу приблизно (5...15) В і яке може забезпечувати струм приблизно (500...5000) А (для підвищення продуктивності електролізної установки

таких джерел постійного струму може бути декілька). По-друге, до складу електролізної установки входять струмопроводи разом з електродами. По-третє, до складу електролізної установки входять безпосередньо стічні води, які є розчинами електролітів, так як в них завжди присутні іони в тій або іншій концентрації.

При проектуванні електролізних установок важливим питанням є розрахунок теплового балансу, який полягає в урахуванні як вхідних теплових потоків (від забруднених стічних вод, від протікання електричного струму (джоулеве тепло), від різних хімічних реакцій і побічних процесів («згорання» анодів, взаємодії з водою водню, взаємодії продуктів електролізу тощо)), так і вихідних теплових потоків (від виходячих продуктів хімічних реакцій і побічних процесів (хлор, водень, кисень, водяна пара, вуглекислота тощо), від очищених стічних вод, від флотошламу, від дилюата, від розсолу тощо). В переважній більшості випадків розрахунок теплового балансу показує, що стічні води в процесі електролізу нагріваються.

Ще одним дуже важливим питанням при проектуванні електролізних установок є витрата електричної енергії, яка необхідна для досягнення потрібного ступеня очищення одиниці об'єму стічних вод. Це питання є особливо актуальним у зв'язку з тим, що електролізні установки є досить енергоємними, а ціни на електричну енергію невпинно підвищуються.

Результати досліджень

Дослідження наведених вище питань проводилось на електролізній установці власного виробництва, де вивчалось видалення з стічних вод певних органічних з'єднань (фарбників, смол, фенолів, спиртів, альдегідів, кетонів, нафтопродуктів, сірчистих з'єднань, ароматичних з'єднань, жирних кислот, масел і т.д.) і важких металів (хрому, кобальту, нікелю, міді, цинку, миш'яку, селену, срібла, кадмію, стибію, ртуті, талію, свинцю і т.д.).

В електролізній установці в якості катодів використовувалася конструкційна сталь Ст. 3, в якості анодів – технічний титан ВТ1-0, який був покритий RuO_2 . Відстань між електродами становила приблизно 10 мм. Установка могла забезпечити напругу між електродами (6...8) В при максимальному струмі (1000...1200) А.

Результати дослідження показали, що ступень видалення з стічних вод текстильної промисловості певних органічних з'єднань і важких металів на одиницю

витраченої на це електричної енергії може залежати як від температури цих стічних вод, так і від питомого струму, який через ці стічні води протікає.

Іншими словами, в переважній кількості випадків можна підібрати такі «середні» значення температур і струмів, коли ступень видалення певних органічних з'єднань і важких металів буде максимальним. В залежності від переважання в стічних водах тих або інших органічних з'єднань і важких металів ці «середні» значення температур і струмів будуть відрізнятися одне від одного.

Зрозуміло, що в такому випадку може знадобитися більша кількість електролізних комірок електролізної установки – але при цьому досягається значна економія електричної енергії, яка при довготривалому використанні електролізної установки приводить відповідно до суттєвого зменшення фінансових витрат на цю електричну енергію.

Для розрахунку оптимальних (з точки зору енергозбереження) значень температур і струмів застосовувалося планування експерименту з використанням композиційних ортогональних планів другого порядку, де вхідними факторами в кодованому масштабі були температура стічних вод $t_{C.B.}$ і струм $i_{C.B.}$, який через ці стічні води протікає. А цільовими функціями були $F_1(t_{C.B.}, i_{C.B.})$ (ступень видалення з стічних вод певних органічних з'єднань на одиницю витраченої на це електричної енергії) і $F_2(t_{C.B.}, i_{C.B.})$ (ступень видалення з стічних вод певних важких металів на одиницю витраченої на це електричної енергії). Цільові функції $F_1(t_{C.B.}, i_{C.B.})$ і $F_2(t_{C.B.}, i_{C.B.})$ мали наступний загальний вигляд:

$$F(t_{C.B.}, i_{C.B.}) = \alpha_0 + \alpha_1 t_{C.B.} + \alpha_2 i_{C.B.} + \alpha_{12} t_{C.B.} i_{C.B.} + \alpha_{11} t_{C.B.}^2 + \alpha_{22} i_{C.B.}^2, \quad (1)$$

де $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_{12}, \alpha_{11}, \alpha_{22}$ – відповідні постійні коефіцієнти.

Знаходження постійних коефіцієнтів рівняння (1) здійснювалося за формулою

$$A = (X^T X)^{-1} X^T Y, \quad (2)$$

де A – матриця постійних коефіцієнтів; X – матриця умов планування експерименту; Y – матриця результатів проведення дослідів.

Кожна з цільових функцій $F_1(t_{C.B.}, i_{C.B.})$ і $F_2(t_{C.B.}, i_{C.B.})$ мала максимум, який відповідав оптимальним (з точки зору енергозбереження) значенням температур і струмів. Зрозуміло, що в кожному конкретному випадку матриця A постійних

коефіцієнтів і максимуми цільових функцій $F_1(t_{c.v.}, i_{c.v.})$ і $F_2(t_{c.v.}, i_{c.v.})$ були різними. В кожній точці плану виконувалося дублювання дослідів, що дало змогу в кінцевому випадку визначити (із застосуванням критерія Кохрена) значимість кожного з постійних коефіцієнтів матриці A , а також визначити (із застосуванням критерія Фішера) адекватність цільових функцій $F_1(t_{c.v.}, i_{c.v.})$ і $F_2(t_{c.v.}, i_{c.v.})$.

Зокрема, робилася спроба очистити стічні води виробництва аміної солі 2,4-Д в наступному складі: NaCl – (80...100) г/л, 2,4-Д-кислоти – (1,5...2,5) г/л, хлорфеноли – (0,6...0,8) г/л, органічний вуглець – (0,75...1,25) г/л. При цьому водневий показник рН становив 4,0...6,0. Також використовувався каталізатор (гідроксид Co) з концентрацією (1,0...1,5) г/л.

За замовчуванням температура стічних вод становила (90...95) °С, а щільність струму через стічні води – (700...800) A/m^2 . Після очищення за допомогою електролізної установки концентрація в стічних водах органічних з'єднань становила не більше (0,05...0,07) г/л. Витрати електричної енергії при очищенні таких стічних вод становили приблизно 30 $\text{kВт}\cdot\text{год}/\text{m}^3$ – такі витрати є дуже великими, і такий режим роботи електролізної установки є дуже енергоємним.

Застосування планування експерименту з використанням композиційних ортогональних планів другого порядку дозволило зменшити витрати електричної енергії при очищенні стічних вод виробництва аміної солі 2,4-Д до (26...28) $\text{kВт}\cdot\text{год}/\text{m}^3$ при тій же самій концентрації в стічних водах органічних з'єднань на рівні (0,05...0,07) г/л.

Цього вдалося досягти шляхом зменшення температури стічних вод на декілька десятків °С, а також щільності струму через стічні води на кілька сотень A/m^2 . «Зворотним боком» зменшення питомих витрат електричної енергії є зниження продуктивності кожної окремої електролізної комірки електролізної установки – але при цьому економія електричної енергії навіть протягом року або кількох років може виявитися набагато значущою ніж вартість цих електролізних комірок.

Висновки

Використання планування експерименту на основі композиційних ортогональних планів другого порядку з метою підвищення ефективності очищення стічних вод за

допомогою електролізної установки показало, що використання оптимальних (з точки зору енергозбереження) значень температур і струмів дозволяє збільшити ступень видалення з стічних вод певних органічних з'єднань і важких металів (на одиницю витраченої на це електричної енергії) приблизно на (5...10) %.

Список використаних джерел

1. Аболонин Б. Е. Основы химических производств: Учеб. пособие / Б. Е. Аболонин, И. М. Кузнецов, Х. Е. Харлампи. – М.: Химия, 2001.
2. Белов С. В. Экология. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007.
3. Воловник Г. И., Коробко М. И. Электрохимическая очистка воды: Учеб. пос. – Хабаровск: Изд-во ДВГУ ПС, 2002.
4. Гридэл Т. Е. Промышленная экология: учебник / Т. Е. Гридэл, Б. Р. Алэн; Пер. с англ. – М.: Изд-во Юнити, 2004.
5. Фрог Б. Я. Водоподготовка / Б. Н. Фрог, А. П. Левченко. – М.: Изд-во Моск. ин-та, 1996.
6. Химия промышленных сточных вод / под ред. А. Рубина. – М.: Химия, 1983.
7. Яковлев С. В. Водоотведение и очистка сточных вод / С. В. Яковлев, Ю. В. Воронов. – М.: АСВ, 2002.
8. Яковлев С. В. Технология электрохимической очистки воды / Под ред. С. В. Яковлева, И. Г. Краснобородько, В. М. Рогова. – Л.: Стройиздат, 1987.

References

1. Abolonin, B.Ye., Kuznetsov, I.M., & Kharlampidi, X.Ye. (2001). *Osnovy khimicheskikh proizvodstv: Ucheb. posobie* [Basics of chemical production: Textbook]. Moscow: Khimiya [in Russian].
2. Belov, S.V. (2007). *Ekologiya* [Ecology]. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana [in Russian].
3. Volovnik, G.I., & Korobko, M.I. (2002). *Elektrokhimicheskaya ochildka vody: Ucheb. pos.* [Electrochemical water treatment: Textbook]. Khabarovsk: Izd-vo DVGU PS [in Russian].
4. Gridel, T.Ye., & Alen, B.R. (2004). *Promyshlennaya ekologiya: Uchebnik* [Industrial ecology: Textbook]. Moscow: Izd-vo Yuniti [in Russian].
5. Frog, B.Ya., & Levchenko, A.P. (1996). *Vodopodgotovka* [Water treatment]. Moscow: Izd-vo Mosk. in-ta [in Russian].
6. Rubin, A. (1983). *Khimiya promyshlennykh stochnykh vod* [Chemistry of industrial wastewater]. Moscow: Khimiya [in Russian].
7. Yakovlev, S.V., & Voronov, Yu.V. (2002). *Vodootvedenie i ochildka stochnykh vod* [Wastewater and wastewater treatment]. Moscow: ASV [in Russian].
8. Yakovlev, S.V., Krasnoborodko, I.G., & Rogova, V.M. (1987). *Tekhnologiya elektro-khimicheskoy ochildki vody* [Technology of electrochemical water treatment]. Leningrad: Stroyizdat [in Russian].

Lisovets Sergey

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3643-046X>

ser.lis.290171@gmail.com

*Kyiv National University of
Technologies and Design*

Tomashevskiy Dmytro

d.tomashvskiy@gmail.com

*Kyiv National University of
Technologies and Design*

Повышение эффективности очистки сточных вод с помощью электролизной установки**Лисовец С. Н., Томашевський Д. И.***Киевский национальный университет технологий и дизайна*

Цель. Повышение эффективности очистки сточных вод от определённых загрязнений и тяжёлых металлов путём определения оптимальных значений температуры сточных вод и удельного тока, который через эти сточные воды протекает.

Методика. Использование планирования эксперимента на основе композиционных ортогональных планов второго порядка.

Результаты. Разработаны модели второго порядка, которые позволяют для сточных вод текстильной промышленности рассчитывать такие значения температуры сточных вод и удельного тока, который через эти сточные воды протекает, чтобы достичь максимальной степени удаления из этих вод определённых органических соединений и тяжёлых металлов на единицу затраченной на это электрической энергии.

Научная новизна. Установлено, что степень удаления из сточных вод текстильной промышленности определённых органических соединений и тяжёлых металлов на единицу затраченной на это электрической энергии может зависеть как от температуры этих сточных вод, так и от удельного тока, который через эти сточные воды протекает.

Практическая значимость. Получены рекомендации по настройке режимов работы существующих электролизных установок или электролизных установок, которые только создаются таким образом, чтобы повысить их энергоэффективность.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, электролизная установка, контур управления, органические соединения, сточные воды

Increasing the efficiency of wastewater treatment using an electrolysis plant**Lisovets S. N., Tomashevskiy D. I.***Kyiv national university of technologies and design*

Purpose. Increasing the efficiency of wastewater treatment from certain contaminants and heavy metals by determining the optimum values of the temperature of the waste water and the specific current that flows through this wastewater.

Methodology. Use of experiment planning on the basis of compositional orthogonal plans of the second order.

Findings. Second-order models have been developed that allow sewage waters of the textile industry to calculate such values of the sewage temperature and the specific current that flows through these wastewater in order to achieve the maximum degree of removal from these waters of certain organic compounds and heavy metals per unit of electric energy expended.

Originality. It has been established that the degree of removal from the waste water of the textile industry of certain organic compounds and heavy metals per unit of electric energy expended may depend both on the temperature of these wastewater and on the specific current flowing through these wastewater.

Practical value. Recommendations are received on adjusting the operating modes of existing electrolysis plants or electrolysis plants, which are only created in such a way as to increase their energy efficiency.

Keywords: heavy metals, electrolysis plant, control loop, organic compounds, wastewater