

Scientific and technical journal «Technogenic and Ecological Safety»

RESEARCH ARTICLE
OPEN ACCESS

ДЕСТРУКЦІЯ БАРВНИКІВ У СТОКАХ ТЕКСТИЛЬНИХ ВИРОБНИЦТВ

М. М. Мадані¹¹Одеська національна академія харчових технологій, Одеса, Україна

УДК 675.04:677.027

DOI: 10.52363/2522-1892.2021.2.9

Отримано: 05 серпня 2021

Прийнято: 25 листопада 2021

Cite as: Madani M. (2021). Destruction of dyes in wastes of textile products. Technogenic and ecological safety, 10(2/2021), 58–63. doi: 10.52363/2522-1892.2021.2.9

Анотація

Наведено результати очищення стічних вод текстильного підприємства в електролізері з нерозчинними анодами і поділом електродних просторів інертною мембраною. Визначено вплив часу, густини струму, концентрації хлористого натрію, початкової концентрації барвників на процес електрохімічної деструкції. Розроблена технологія дозволяє забезпечити ефективність руйнування барвників і органічних речовин, необхідну для отримання якості води, що відповідає нормам скидання в міську каналізацію і зменшити витрати на очистку води за рахунок відсутності реагентного господарства, відстійників і обладнання для зневоднення.

Ключові слова: технології захисту, технічна екологія, барвники, електрохімічна деструкція, електролізер з поділом електродних просторів.

Вступ

Текстильна промисловість є одним із серйозних джерел забруднення гідросфери. Це пов'язано з використанням в технологічних процесах широкого асортименту барвників, поверхневих речовин, окиснювачів та інших хімічних реагентів. Сучасні барвники характеризуються низькою здатністю до біодеструкції, стійкістю до хімічних і температурних впливів навколишнього середовища [1–3].

Потрапляючи зі стічними водами в об'єкти навколишнього середовища, барвники не тільки дуже помітні, порушуючи естетичне сприйняття водного середовища, а й пригнічують життєдіяльність екосистем і негативно впливають на процеси самоочищення водою. Деякі барвники залишаються в навколишньому середовищі протягом тривалого часу [4, 5].

Крім того, фарбувально-обробне виробництво – одне з найбільш водомістких виробництв. Споживання води на обробку 1 т текстильних матеріалів в середньому становить близько 100 м³.

Основними технологічними процесами обробки бавовняного полотна є: відбілювати з використанням каустика і перекису водню; нейтралізація – кислотна обробка для очищення текстильного матеріалу від залишків хімікатів; фарбування з використанням різних видів барвників в концентрованому розчині електроліту – хлориду або сульфату натрію та соди; пом'якшення з використанням органічних сполук. Крім основних хімікатів, в технологічні розчини додають органічні сполуки різних класів – зволожувачі, стабілізатори, іоновловлювачі, ензими та поверхнево активні речовини (ПАР) [6].

Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Стічні води текстильного виробництва характеризуються високим вмістом органічних речовин, сильним забарвленням і високим значенням рН, підвищеною стійкістю, токсичністю і низькою спроможністю до біодеструкції. Для очищення такого виду стоків найбільш часто використовується метод реагентної очистки з введенням солей алюмінію або заліза [7]. Технологія базується на осадженні барвників і ПАР у вигляді нерозчинних сполук, що утворюються при взаємодії з іонами металів (Fe⁺² або Al⁺³), а також їх сорбції на поверхні, що утворюється в процесі гідролізу коагулянтів Fe(OH)₂ або Al(OH)₃.

Основним недоліком технології з використанням коагулянтів при очищенні сильно забруднених стічних вод фарбувального виробництва є необхідність введення значних доз реагентів, вартість яких в даний час дуже висока. Крім того, при цьому утворюється значний (до 10 % обсягу оброблюваної води) об'єм важко утилізованого осаду, для зневоднення якого необхідно громіздке і дороге устаткування та збільшується загальний солемісткість води, що ускладнює скидання її в каналізацію [8, 9].

З деструктивних методів найчастіше використовують очищення стічних вод окиснювачами. Їм притаманні деякі переваги, а саме: висока ефективність і технологічність, компактність і простота автоматизації та управління. Але разом із перевагами в очищенні стічних вод окиснювачами існує і низка недоліків: невисокий ступінь окислення хімічно стійких органічних речовин, у результаті чого можливе

утворення більш токсичних речовин; складність апаратурного оформлення вузла генерування окиснювача. За умови реалізації реагентної відновно-окислювальної деструкції потрібно проводити доочищення стічних вод. Сепаративні методи, такі, як сорбція на активованому вугіллі та макропористих іонітах, інших видах сорбентів, у тому числі на природних сорбентах, забезпечують не високий ступінь очищення стічних вод [10–14].

На жаль, наявні технології очищення стічних вод від цих речовин досить часто недосконалі, неефективні або ж цілком відсутні. Усе це зумовлює необхідність розроблення та впровадження ефективних і водночас недорогих у виконанні та експлуатації технологій очищення стічних вод від барвників.

Кардинальним вирішенням цих проблем може бути використання для очищення фарбувальних стоків методу електрохімічної деструкції. В процесі електрохімічної деструкції досягається практично повне руйнування барвників і зменшення концентрації органічних сполук, як за рахунок анодного окислення, так і за рахунок окислення гідроксил-радикалами, при цьому не відбувається утворення осадів. В роботі [15] встановлено основні закономірності процесів електрохімічної деструкції за участю комплексів барвників. Для реалізації процесу запропоновано використовувати однопоточні багатокомірчасті апарати щілинного типу з плоско-паралельними електродами. Матеріал катодів – конструкційна сталь Ст. 3, матеріал анодів – титан, покритий оксидами рутенію (ОРТА).

Мета та завдання дослідження

Метою дослідження є усунення загрози навколишньому середовищу від забруднення гідрофери стічними водами текстильного виробництва шляхом розроблення технології електрохімічного очищення стоків від барвників із застосуванням нерозчинних анодів і поділом електродних просторів інертною мембраною та з'ясування оптимальних режимних параметрів реалізації процесу очищення стоків від барвників. Для досягнення мети вирішувались наступні задачі:

- 1) визначити вплив концентрації NaCl на ефективність процесу електрохімічної обробки стічних вод;
- 2) визначити вплив густини струму, часу обробки, величини рН та температури на ефективність деструкції барвників в процесі електрохімічної обробки;
- 3) визначити ефективність процесу електрохімічної обробки стічних вод, що містять суміш барвників.

Матеріали та методи дослідження

У даній роботі наведені результати очищення стічних вод текстильного підприємства ВАТ «Текстерно» в електролізері з нерозчинними анодами і поділом електродних просторів інертною мембраною.

Досліджено очищення стоків, забруднених барвниками: прямими – яскраво червоний, зелений, блакитний; активними – червоним та темно-

коричневим. Вибір таких барвників для досліджень зумовлений тим, що вони широко застосовуються і тому створюють велику кількість стоків, які потребують очищення.

Дослідження з визначення технологічних параметрів процесу електрохімічної деструкції проводили на модельних розчинах, склад яких відповідав складу стічних вод, що утворюються в процесі фарбування з використанням прямих барвників (червоний, зелений, блакитний) або активних барвників (червоний, темно-коричневий). Концентрація барвників – 50, 100, 150 мг/л, забарвлення з розведенням 1:75 – 1:300, концентрація хлористого натрію – 1...5 г/л. Розчини готували шляхом розбавлення відпрацьованих технологічних розчинів відварювання і фарбування.

Установка для обробки стічних вод складається з електролізера з поділом електродних просторів, випрямляча для змінного струму, насосів і допоміжних ємностей. Електролізер це циліндричний корпус, в якому співвісно розташовані перфоровані аноди, виконані з ОРТА, і катоди, виконані з нелегованої сталі. Анодні і катодні камери розділені інертною мембраною, укріпленою на каркасі з діелектричного матеріалу, конструкція якого забезпечує герметичний поділ катодного і анодного простору. Загальна продуктивність установки складає 4...16 л/год. Електроживлення здійснюється від джерела постійного струму – випрямляча через анодний і катодний струмопроводи.

Ефективність очищення оцінювали за зниженням кольоровості розчину, величиною рН і ХСК. В очищеному розчині визначали також концентрацію активного хлору. Аналіз проводили за загальноприйнятими методиками.

Визначення водневого показника рН проводилось при кімнатній температурі (20...25 °С) за допомогою портативного рН-метра марки SX 711 (Китай) з точністю вимірювання $\pm 0,001$ рН.

Кольоровість води визначали фотометричним методом [16].

Хімічне споживання кисню (ХСК) визначалось з допомогою біхроматного арбітражного методу. Стічна вода фільтрувалась через фільтр «біла стрічка». Перша порція фільтрату відкидалась, а фільтр попередньо промивався гарячою водою. Хлориди, які заважали аналізу маскувались додаванням HgSO_4 у кількості 22,2 мг на 1 мг СГ. Органічні речовини окислювались надлишком калій біхромату $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ у 18 н розчині (розведення 1:1) сульфатної кислоти. Після окислення залишок калій біхромату відтитровувався розчином солі Мора з індикатором ферроїном (розчин N-фенілатронілової кислоти). Паралельно проводився холостий дослід. Хімічне споживання кисню (ХСК, мг $\text{O}/\text{дм}^3$) розраховувалось за формулою:

$$\text{ХСК} = (a - b) \cdot N \cdot 8 \cdot 1000 / V, \quad (1)$$

де ХСК – хімічне споживання кисню, мг $\text{O}/\text{дм}^3$; a – об'єм розчину солі Мора, який витрачено на титрування в холостому досліді, см^3 ; b – об'єм

розчину солі Мора, який витрачено на титрування проби, см^3 ; N – нормальна концентрація титрованого розчину солі Мора; V – об'єм води, взятий для дослідження, дм^3 ; 1000 – коефіцієнт для перерахунку на 1 дм^3 води; 8 – еквівалент кисню.

Вміст сульфат-іонів (SO_4^{2-}) досліджувався гравіметричним методом. В основі аналізу лежить хімічна реакція з барій хлоридом BaCl_2 , в результаті якої утворюється білий осад барій сульфату BaSO_4 . Кількість сульфатів (SO_4^{2-} , $\text{мг}/\text{дм}^3$) розраховувалась за формулою:

$$\text{SO}_4^{2-}, \text{мг}/\text{дм}^3 = a \cdot 0,4116 \cdot 1000 / V, \quad (2)$$

де a – маса прожареного у муфельній печі при температурі 600°C осаду барій сульфату, г ; V – об'єм води, взятий для дослідження, см^3 ; 1000 – коефіцієнт для перерахунку на 1 дм^3 води; 0,4116 – коефіцієнт перерахунку BaSO_4 на SO_4^{2-} .

Вміст хлорид-іонів (Cl^-) визначався аргентометричним методом (Фольгарда). Після випарювання проби залишок прожарювався, розчинявся у гарячій воді і до розчину додавався надлишок розчин аргентум нітрату AgNO_3 . Осад аргентум хлориду AgCl відфільтровувався і залишок AgNO_3 відтитровувався розчином калій родоніту KSCN в присутності залізо-амонійних галунів в якості індикатора. Концентрація хлоридів (Cl^- , $\text{мг}/\text{дм}^3$) у досліджуваній воді визначалась за формулою:

$$\text{Cl}^-, \text{мг}/\text{дм}^3 = (a \cdot K_1 - b \cdot K_2) \cdot 3,546 \cdot 1000 / V, \quad (3)$$

де a – об'єм доданого розчину AgNO_3 , см^3 ; b – об'єм розчину KSCN , що витрачений на титрування, см^3 ; K_1 – поправочний коефіцієнт для приведення концентрації розчину AgNO_3 до точно 0,1 н; K_2 – поправочний коефіцієнт для приведення концентрації розчину KSCN до точно 0,1 н; V – об'єм води, взятий для дослідження, см^3 ; 3,546 – кількість хлору, еквівалентна 1 см^3 0,1 н розчину AgNO_3 , мг .

Результати досліджень

Основними параметрами, що впливають на ефективність деструкції барвників в процесі електрохімічної обробки, є: густина струму, час обробки, величина рН, температура і концентрація хлоридів. При спільності тенденції впливу, зміни цих параметрів на ефективність деструкції, залежать від виду барвника і його кольору (табл. 1).

Проведені дослідження показали, що деструкція прямих барвників відбувається досить ефективно без введення додаткових активуючих добавок - хлористого натрію, а для деструкції активних барвників необхідно забезпечити концентрацію хлориду натрію, більшу ніж 1,0 $\text{г}/\text{л}$, а також більш високу густина струму та збільшення часу обробки в порівнянні з деструкцією прямих барвників.

Інтенсифікація процесу електрохімічної деструкції органічних забруднень відбувається внаслідок утворення при електролізі так званого «активного хлору» - водного розчину, що містить хлор і продукти його гідролізу (Cl_2 , HOCl , Cl_2O , ClO^- , ClO_3^-) [4], які є сильними окиснювачами.

Таблиця 1 – Вплив концентрації NaCl на ефективність процесу електрохімічної обробки стічних вод, що містять прямі і активні барвники

№ з/п	Параметри обробки		Характеристика обробленого розчину			
	концентрація NaCl , $\text{г}/\text{л}$	час обробки, хв	$\text{pH}_{\text{кон}}$	зафарбовування з розведенням	ХСК, $\text{мг}/\text{л}$	ефективність очищення за ХСК, %
Прямий яскраво червоний, концентрація 100 $\text{мг}/\text{л}$, зафарбовування з розведенням 1:150, ХСК 1428 $\text{мг}/\text{л}$, $\text{pH}_{\text{вих}}$ – 10,3, густина струму – 100 $\text{А}/\text{м}^2$, напруга – 5...8 В						
1	відсутній	5	7,1	1:16	431	69,8
2	1,0	5	6,2	1:10	231	83,8
Прямий зелений, концентрація 100 $\text{мг}/\text{л}$, зафарбовування з розведенням 1:180, ХСК 1523 $\text{мг}/\text{л}$, $\text{pH}_{\text{вих}}$ – 10,5, густина струму – 100 $\text{А}/\text{м}^2$, напруга – 5...8 В						
3	відсутній	5	7,5	1:28	652	57,2
4	1,0	5	7,1	1:16	438	71,2
5	1,0	10	5,9	1:10	227	85,1
Прямий блакитний, концентрація 100 $\text{мг}/\text{л}$, зафарбовування з розведенням 1:250, ХСК 1476 $\text{мг}/\text{л}$, $\text{pH}_{\text{вих}}$ – 10,8, густина струму – 100 $\text{А}/\text{м}^2$, напруга – 5...8 В						
6	відсутній	15	6,43	1:16	483	68,3
7	1,0	10	6,31	1:14	318	78,5
Активний червоний, концентрація 100 $\text{мг}/\text{л}$, зафарбовування з розведенням 1:150, ХСК 1362 $\text{мг}/\text{л}$, $\text{pH}_{\text{вих}}$ – 10,45, густина струму – 200 $\text{А}/\text{м}^2$, напруга – 8...12 В						
8	відсутній	30	4,8	1:16	485	64,4
9	1,0	15	4,9	1:16	358	73,7
10	2,0	7,5	5,2	1:14	302	77,8
Активний темно-коричневий, концентрація 100 $\text{мг}/\text{л}$, зафарбовування з розведенням 1:260, ХСК 1436 $\text{мг}/\text{л}$, $\text{pH}_{\text{вих}}$ – 10,2, густина струму – 200 $\text{А}/\text{м}^2$, напруга – 8...12 В						
11	відсутній	30	4,8	1:48	502	65,1
12	1,0	30	4,7	1:26	458	68,2
13	2,0	20	5,2	1:16	302	77,8
14	4,0	10	5,8	1:15	290	79,8

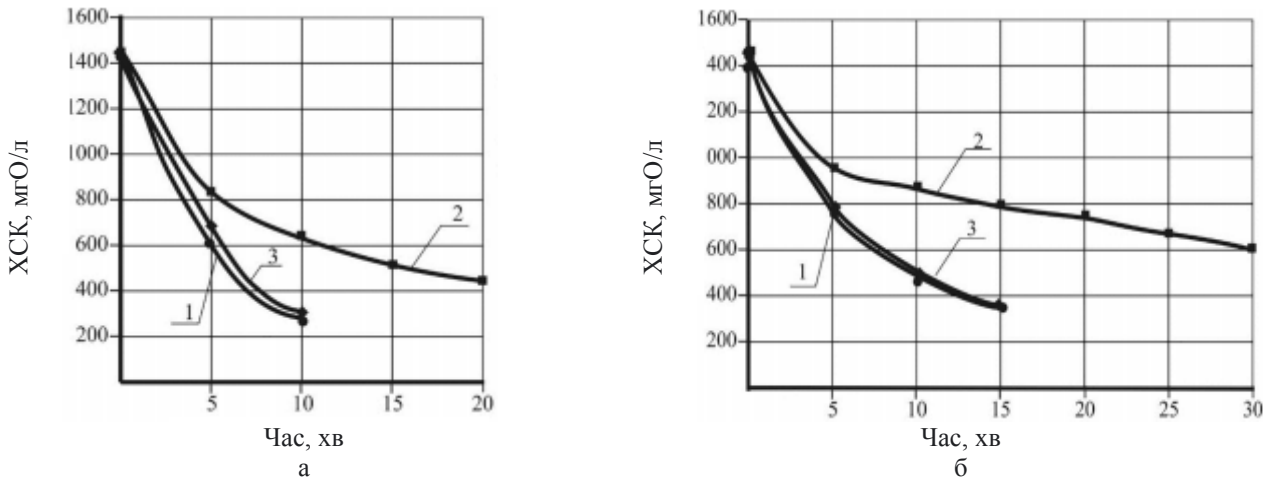


Рисунок 1 – Вплив Na_2SO_4 на ефективність процесу електрохімічної обробки стічних вод, що містять барвники: а – прямий голубий (густина току 100 A/m^2); б – активний червоний (густина току 200 A/m^2).

- 1 – концентрація NaCl – 1,0 г/л;
- 2 – концентрація Na_2SO_4 – 1,0 г/л, NaCl – 1,0 г/л;
- 3 – концентрація Na_2SO_4 – 1,0 г/л, NaCl – 2,0 г/л.

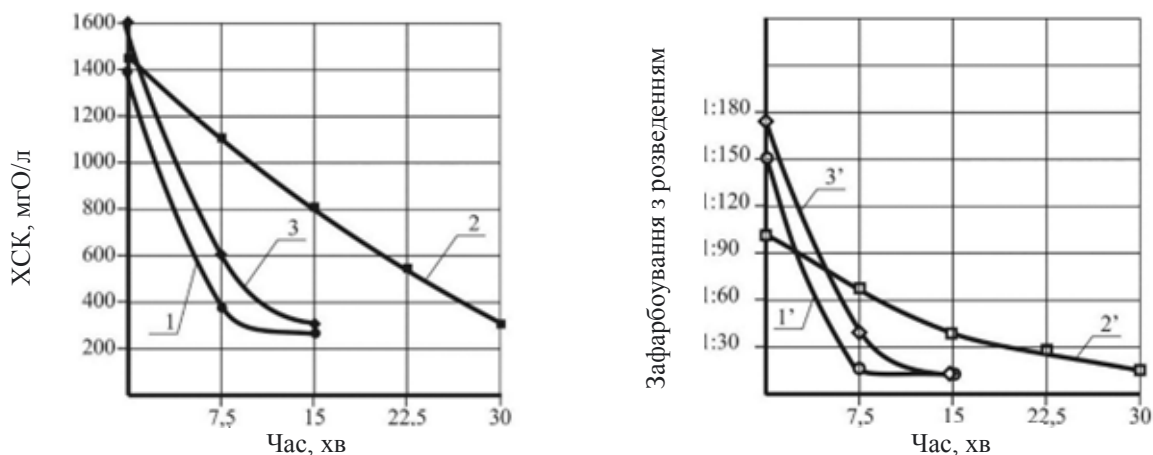


Рисунок 2 – Ефективність процесу електрохімічної обробки стічних вод, що містять суміш барвників (густина струму 100 A/m^2):

- 1, 1' – прямий блакитний – 25 мг/л + активний червоний – 25 мг/л;
- 2, 2' – прямий блакитний – 75 мг/л + активний червоний – 25 мг/л;
- 3, 3' – прямий зелений 30 мг/л + активний темно-коричневий – 20 мг/л

Аналіз складу стічних вод різних виробництв показав, що в даний час в якості електроліту в процесі фарбування використовується як хлористий натрій, так і сульфат натрію. Наявність сульфат-іонів знижує значення виходу за струмом, оскільки ці іони, маючи з іонами Cl^- приблизно однакову відносну рухливість в розчинах, можуть одночасно розряджатися на аноді, підвищуючи загальні витрати струму на вихід активного хлору.

Проведені дослідження, результати яких представлені на рисунку 1, показали, що в присутності сульфат-іонів для досягнення необхідного ефекту очищення потрібне збільшення концентрації хлорид-іонів або підвищення густини струму.

Стічні води фарбувального виробництва містять, як правило, суміш активних і прямих барвників в різних співвідношеннях. Результати досліджень показали, що оптимальні параметри обробки суміші активних і прямих барвників залежать не тільки від загальної концентрації барвників, а й від співвідношення концентрацій різного виду барвників. Дані, наведені на рис. 2, дозволяють зробити висновок, що зі збільшенням частки активних барвників оптимальний час деструкції збільшується.

Визначено, що збільшення температури від 20 до 45°C збільшує ефективність розкладання барвників і допоміжних органічних речовин, а ступінь окислення органічних домішок в слабо-кислому середовищі ($\text{pH } 4,8 \dots 5,0$) вище, ніж при $\text{pH } 8,0 \dots 10$.

Обговорення результатів

Результати проведених досліджень показали, що для всіх видів розглянутих барвників кількість електричного струму, необхідного для досягнення потрібного ефекту знебарвлення і зниження ХСК, прямо пропорційна концентрації барвника. При цьому оптимальні технологічні параметри процесу очищення залежать не тільки від виду і концентрації барвника, а й від його кольору. Якість очищених стічних вод відповідає нормам скидання в каналізацію. У зв'язку з тим, що в результаті очищення не відбувається утворення осадів, вартість очищення значно знижується за рахунок відсутності: реагентної обробки, відстійників і обладнання для зневоднення.

Зменшення концентрації барвників в стічних водах текстильних підприємств відбувається за рахунок використання сучасних барвників, що характеризуються збільшенням коефіцієнта поглинання. Однак при цьому не змінюється вміст лугів і органічних сполук, що потрапляють у стічні води з відпрацьованими розчинами варіння і відбілювання. Зміна співвідношення концентрації барвників і допоміжних речовин в стічних водах впливає на параметри очищення, тому що навіть при низьких концентраціях барвника для досягнення необхідного ефекту зниження ХСК необхідний час обробки (або густина струму) може збільшуватися.

Висновки

В результаті проведених досліджень встановлено оптимальні режими електрохімічного очищення стоків від барвників. Отримані результати дозволили зробити наступні висновки:

1) встановлено, що деструкція прямих барвників відбувається досить ефективно без введення хлористого натрію, а для деструкції активних барвників необхідно забезпечити концентрацію хлориду натрію, більшу ніж 1,0 г/л;

2) визначено, що для деструкції активних барвників необхідно забезпечити більшу густина струму (200 А/м²) та збільшити час обробки (15...30 хв) в порівнянні з деструкцією прямих барвників;

3) визначено, що збільшення температури від 20 до 45°C збільшує ефективність розкладання барвників і допоміжних органічних речовин, а ступінь окислення органічних домішок в слабкокислому середовищі (рН 4,8...5,0) вище, ніж при рН 8,0...10;

4) встановлено, що ефективність процесу електрохімічної обробки стічних вод, що містять суміш барвників, залежить не тільки від загальної концентрації барвників, а й від співвідношення концентрацій різного виду барвників. Зі збільшенням частки активних барвників оптимальний час деструкції збільшується від 15 до 30 хв.

ЛІТЕРАТУРА

1. Киселёв А. М. Экологические аспекты процессов отделки текстильных материалов / А. М. Киселёв // Российский химический журнал (Журнал Российского химического общества им. Д. И. Менделеева). – 2007. – Т. XLVI. № 1. – С. 20–30.
2. Дмитренко Г. Биологическая очистка высококонцентрированных сточных вод от органических растворителей / Г. Дмитренко, П. Гвоздяк // Химия и технология воды. – 2002. – Т. 24. №2. – С. 185–191.
3. Forgacs E. Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review / E. Forgacs // Environment International. – 2004. – Vol. 30. Issue 7. – Pp. 953–971.
4. Hao O. J. Decolorization of wastewater / O. J. Hao, H. Kim, P.-C. Chiang // Critical Reviews in Environmental Science and Technology. – 2000. – Vol. 30. Issue 4. – Pp. 449–505.
5. Мальований М. Очищення стічних вод від органічних розчинників / М. Мальований, І. Петрушка, Р. Петрусь, О. Стокалок // Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов, утилизация отходов: сбор. науч. трудов участ. XIII Междунар. науч.-техн. конф. – Алуста : 2005. – С. 902–905.
6. Robinson T. Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative / T. Robinson // Bioresource Technology. – 2010. – Vol. 77. Issue 3. – Pp. 247–255.
7. Шинибаев А. Д. Оценка современного состояния проблем очистки производственных сточных вод от ПАВ и красителей / А. Д. Шинибаев // Вестник КазНТУ. – 2014. – № 4. – С. 234–238.
8. Бочкарев Г. Р. Интенсификация коагуляционной очистки высокоцветных вод / Г. Р. Бочкарев, П. В. Курбатов, С. А. Кондратьев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2009. – № 1. – С. 35–39.
9. Obushenko T. Thermodynamic studies of bromophenol blue removal from water using solvent sublation / T. Obushenko, N. Tolstopalova, I. Astrelin, O. Kulesha // Chemistry & Chemical Technology. – 2016. – Vol. 10. Issue 4. – Pp. 515–518.
10. Гоба В. Е. Сорбционная очистка сточных вод химических производств с помощью активных антрацитов / В. Е. Гоба, С. С. Ставицкая, А. И. Томашевская, В. М. Викарчук // Химия и технология воды. – 2003. – Т. 25. № 5. – С. 369–377.
11. Дульнева Т. Ю. Очистка воды от красителей керамическими мембранами модифицированными глинистыми минералами / Т. Ю. Дульнева, В. В. Кучерук // Химия и технология воды. – 2005. – Т. 27. № 5. – С. 496–504.
12. Ягольник С. Г. Дослідження сорбції прямого зеленого барвника на комплексно активованому кліноптилоліті / С. Г. Ягольник, В. В. Кочубей, В. І. Троцький, Я. М. Ханік // Праці III-ої наук.-техн. конф. з технології неорганічних речовин. – Дніпропетровськ : 2006. – С. 213.
13. Мелешенко К. Ф. Предупреждение загрязнения водоемов сточными водами предприятий синтетической химии / К. Ф. Мелешенко. – Киев: Здоров'я, 1971. – 144 с.
14. Obushenko T. The solvent sublation of bromocresol green from waters solutions / T. Obushenko, N. Tolstopalova, N. Baranuk // Технологический аудит и резервы производства. – 2018. – № 2/3 (40). – С. 48–53.
15. Краснобородко И. Г. Деструктивная очистка сточных вод от красителей / И. Г. Краснобородко. – Ленинград: Химия, 1988. – 192 с.
16. Кульский Л. А. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды: в 2 ч. / Л. А. Кульский, И. Т. Гороновский, А. М. Когановский, М. А. Шевченко. – К.: Наукова думка, 1980. – 1206 с.

Madani M.**DESTRUCTION OF DYES IN WASTES OF TEXTILE PRODUCTS**

The results of wastewater treatment of textile enterprises in the electrolyzer with insoluble anodes and separation of electrode spaces with an inert membrane are presented. The influence of time, current density, concentration of sodium chloride, the initial concentration of dyes on the process of electrochemical destruction is determined. The developed technology makes it possible to ensure the effectiveness of the destruction of dyes and organic substances, which is necessary to obtain water quality that meets the standards for discharge into the municipal sewage system and reduce the cost of water treatment due to the lack of reagent facilities, septic tanks and dewatering equipment.

Key words: protection technologies, technical ecology, dyes, electrochemical destruction, electrolyzer with separation of electrode spaces.

REFERENCES

1. Kiselov A. M. (2007). Ekologicheskiye aspekty protsessov odelki tekstil'nykh materialov. [Environmental aspects of textile finishing processes]. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal (Zhurnal Rossiyskogo khimicheskogo obshchestva im. D. I. Mendeleeva)*, XLVI(1), 20–30. [in Russian].
2. Dmitrenko G., Gvozdnyak P. (2002). Biologicheskaya ochildka vysokokontsentrirrovannykh stochnykh vod ot organicheskikh rastvoriteley. [Biological treatment of highly concentrated waste water from organic solvents]. *Khimiya i tekhnologiya vody*, 24(2), 185–191. [in Russian].
3. Forgacs E. (2004). Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review. *Environment International*, 30(7), 953–971.
4. Hao O. J., Kim H., Chiang P.-C. (2000). Decolorization of wastewater. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 30(4), 449–505.
5. Mal'ovanyy M., Petrushka I., Petrus' R., Stokalyuk O. (2005). Ochyshchennya stichnykh vod vid orhanichnykh rozchynnykiv. [Wastewater treatment from organic solvents]. *Ékologiya y zdorov'e cheloveka. Okhrana vodnoho y vozdušnoho basseynov, utylyzatsyya otkhodov: sbor. nauch. trudov uchast. XIII Mezhdunar. nauch.-tekh. konf. Alushta*, 902–905. [in Ukrainian].
6. Robinson T. (2010). Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresource Technology*, 77, 247–255.
7. Shinibayev A. D. (2014). Otsenka sovremennogo sostoyaniya problem ochildki proizvodstvennykh stochnykh vod ot PAV i krasiteley. [Assessment of the current state of the problem of industrial wastewater treatment from surfactants and dyes]. *Vestnik KazNTU*, 4, 234–238. [in Russian].
8. Bochkarev G. R., Kurbatov P. V., Kondrat'yev S. A. (2009). Intensifikatsiya koagulyatsionnoy ochildki vysokotsvetnykh vod. [Intensification of coagulation cleaning of high-color waters]. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*, 1, 35–39. [in Russian].
9. Obushenko T., Tolstopalova N., Astrelin I., Kulesha O. (2016). Thermodynamic studies of bromophenol blue removal from water using solvent sublation. *Chemistry & Chemical Technology*, 10(4), 515–518.
10. Goba V. Ye., Stavitskaya S. S., Tomashevskaya A. I., Vikarchuk V. M. (2003). Sorbtionnaya ochildka stochnykh vod khimicheskikh proizvodstv s pomoshch'yu aktivnykh antratsitov. [Sorption treatment of wastewater from chemical industries using active anthracites]. *Khimiya i tekhnologiya vody*, 25(5), 369–377. [in Russian].
11. Dul'neva T. Yu., Kucheruk V. V. (2005). Ochildka vody ot krasiteley keramicheskimi membranami modifitsirovannymi glinistymi mineralami. [Water purification from dyes with ceramic membranes modified with clay minerals]. *Khimiya i tekhnologiya vody*, 27(5), 496–504. [in Russian].
12. Yahol'nyk S. H., Kochubey V. V., Trots'kyi V. I., Khanyk Ya. M. (2006). Doslidzhennya sorbtitsiyi pryamoho zelenoho barvnyka na kompleksno aktyvovanomu klynoptyloli. [Investigation of sorption of direct green dye on complex activated clinoptilolite]. *Pratsi III-oyi nauk.-tekh. konf. z tekhnolohiyi neorhanichnykh rehovyn, Dnipropetrovs'k*, 213. [in Ukrainian].
13. Meleshchenko K. F. (1971). Preduprezhdeniye zagryazneniya vodoyemov stochnymi vodami predpriyatiy sinteticheskoy khimii. [Prevention of pollution of reservoirs by waste waters of enterprises of synthetic chemistry]. Kyiv: Zdorov'ya, 144 p. [in Russian].
14. Obushenko T., Tolstopalova N., Baranuk N. (2018). The solvent sublation of bromocresol green from waters solutions. *Technological audit and production reserves*, 2/3(40), 48–53.
15. Krasnoborod'ko I. G. (1988). Destruktivnaya ochildka stochnykh vod ot krasiteley. [Destructive purification of waste water from dyes]. Leningrad: Khimiya. 192 p. [in Russian].
16. Kul'skij L. A., Goronovskij I. T., Koganovskij A. M., Shevchenko M. A. (1980). Spravochnik po svoystvam, metodam analiza i ochildke vody : v 2 ch. Kyiv: Naukova dumka. 1206 p. [in Russian].