

Т.В. АРГАТЕНКО, кандидат технічних наук

О.О. МАЛАХОВА, магістрант

Київський національний університет будівництва і архітектури

ЕЛЕКТРОКОАГУЛЯЦІЙНЕ ЗНЕБАРВЛЕННЯ ВОДИ ЗІ СПІРАЛЬНИМИ ЕЛЕКТРОДАМИ ПРИ ЗМІННОМУ СТРУМІ

Наведено результати лабораторних дослідів зі знебарвлення промивних вод від виробництва друкарських фарб в електрокоагуляторі зі спіральними електродами при використанні змінного електричного струму. Представлено розрахунки питомих витрат електроенергії та металу для досягнення необхідної ефективності очистки з метою повторного використання обробленої води для технологічних потреб підприємства.

Ключові слова: знебарвлення, електрокоагуляція, спіральні електроди.

Приведены результаты лабораторных опытов по обесцвечиванию промывных вод от производства печатных красителей в электрокоагуляторе со спиральными электродами при использовании переменного электрического тока. Представлены расчеты по удельным расходам электроэнергии и металла для достижения требуемой эффективности очистки с целью повторного использования обработанной воды для технологических нужд предприятия.

Ключевые слова: обесцвечивание, электрокоагуляция, спиральные электроды.

The results of laboratory experiments on the discoloration of washing waters from the production of printing inks in an electrocoagulator with spiral electrodes and alternating current are given. Calculations for the specific electricity and metal consumption to achieve the required purification efficiency in order to reuse treated water for the technological needs of the undertaking are presented.

Key words: discoloration, electrocoagulation, spiral electrodes.

Вступ

Низька водозабезпеченість України та постійне зростання рівня забрудненості природних водних об'єктів вимагають вирішення питання раціонального промислового водокористування. Одним із шляхів зменшення надходження шкідливих забруднювачів у навколишнє середовище є повторне використання виробничих стічних вод за умови ефективної їх обробки.

Дана робота присвячена проблемі повторного використання технологічних вод при виробництві друкарських фарб. Типова технологічна лінія такого виробництва представлена на рис.1.

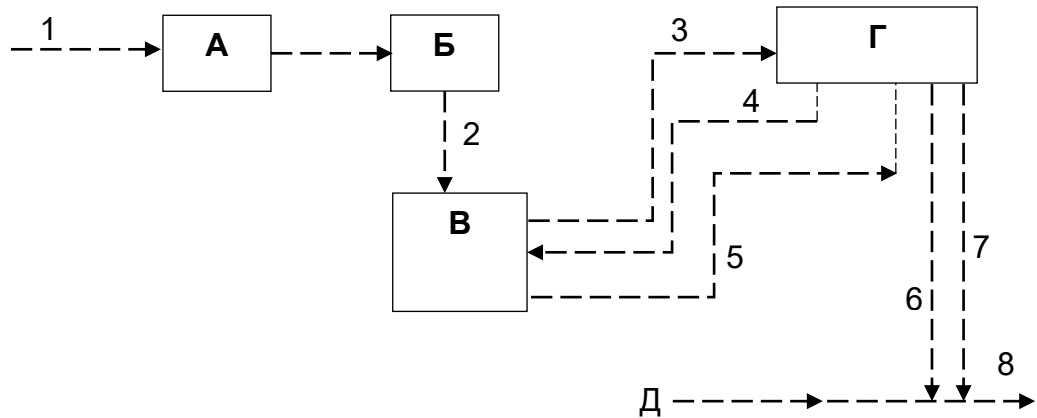


Рис.1. Існуюча схема промислового водокористування технологічної лінії по виробництву друкарських фарб: А – блок знесолення технологічної води; Б – бак-накопичувач знесоленої води; В – блок технологічних насосів; Г – блок двокамерних реакторів; Д – колектор системи промводовідведення підприємства; 1 – вхід води від міського водопроводу; 2 – вхід технологічної води; 3 – впуск технологічної води до камери №1 реактора; 4 – випуск фарби із камери №1; 5 – впуск фарби до камери №2; 6 та 7 – випуск промивної води від камер №1 та 2 до мережі промводовідведення; 8 – випуск виробничих стічних вод підприємства до міської каналізації

Вимоги до води, що може бути використана в технологічному циклі, (табл.1) свідчать про необхідність попередньої підготовки води з міського водопроводу з метою усунення з неї хлоридів і сульфатів та забезпечення мінімально можливого ступеню її первинного забарвлення.

Таблиця 1

Вимоги до деяких фізико-хімічних показників технологічної води при виробництві друкарських фарб

Показники	Одиниці виміру	Величина	Примітки
Прозорість	см	18...22	
Жорсткість заг.	мг-екв/дм ³	2...3	
Хлориди	мг/дм ³	10...12	пов'язано з вимогами стосовно стійкості щодо атмосферних впливів та вологості повітря у приміщеннях, де зберігаються та використовуються вірогідні вироби
Сульфати	мг/дм ³	8...10	
Коефіцієнт світлопропускання	%	95...100	пов'язано з запобіганням надходження у реактори-стабілізатори домішок, що можуть негативно впливати на кольорову палітру виробів

Відповідно до наведеної на рис. 1 схеми, технологічна вода використовується як для виробництва фарб у двокамерних реакторах, так і для періодичного промивання реакторів від залишків фарби у них. Промивна вода в існуючій схемі (лінії 6 і 7) скидається до колектору промводовідведення підприємства (лінія Д), звідки потрапляє до міської каналізації (8).

Наявність у загальному потоці виробничих стічних вод підприємства барвників (висококонцентрованих і токсичних хімічних сполук) вимагає від технічних служб проведення спеціальних економічно затратних заходів по знебарвленню і детоксикації цих вод.

Авторами були проведені експериментальні дослідження по розробці технології очистки промивних вод з метою їх можливого повторного використання без (або з обмеженням) скидання до міської каналізації.

Програма експериментальних досліджень

Промивні води двокамерних реакторів характеризуються показниками, наведеними в табл.2. Дані табл.1 і 2 запозичені авторами із технологічного регламенту по виробництву «прямих» барвників [1]. За цією технологією барвники, що продукуються на даній технологічній лінії, за своєю хімічною будовою відносяться до триарилметанової групи [2], а за галузями та методами використання до так званих «прямих» барвників.

Таблиця 2

Деякі якісні показники промивної води після двокамерних реакторів-стабілізаторів

Показники	Одиниці виміру	Величина	Примітки
Температура	°С	18...22	ізотермічний режим виробництва відповідно до температури робочого приміщення
Жорсткість заг.	мг-екв/дм ³	1,2...1,8	[Ca ²⁺] ≤ 10...12 мг/дм ³ , [Mg ²⁺] ≤ 6...14 мг/дм ³
Коефіцієнт світло-пропускання	%	не більше 15...20	залежно від тривалості та інтенсивності промивки реактору
Прозорість	см	не більше 2...3	обумовлена наявністю завислих часток фарб

Для «прямих» барвників характерною є їх здатність вибірково поглинати промені світла, яка пов'язана з наявністю в їхній структурі продовженої системи супряжених подвійних зв'язків, що можуть включати ауксохроми та хромофори. За розміром часток ці фарбники віднесені до II групи фазово-дисперсної класифікації домішок води [3]. Саме завдяки цій останній характеристиці виникає можливість використання для дестабілізації цих барвників у водному розчині процесу коагуляції.

Як впливає із даних табл.1, для технологічної води цієї промислової лінії існують суттєві обмеження щодо вмісту Cl^- та SO_4^{2-} , що не дозволяє здійснювати очистку оборотної води (рис.1, лінії 6-7) з метою її можливого повторного використання із залученням методу коагуляції на базі класичних сірчаноокислих та хлоридних реагентів (наприклад, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ або FeCl_3). Ось чому наші подальші експерименти було зорієнтовано на технологію електрокоагуляції, яка не пов'язана з надходженням аніонів Cl^- або SO_4^{2-} в очищувану воду.

На підставі літературного пошуку було обрано конструкцію електрокоагулятора з електродним блоком у вигляді двох спіралей з алюмінієвого дроту, намотаних паралельно одна одній (з мінімально можливим за конструкційними вимогами зазором між ними) на неелектропровідну циліндричну основу (пластмасовий патрубок) [4].

На базі цього електродного блоку було змонтовано експериментальний стенд, схема якого показана на рис. 2.

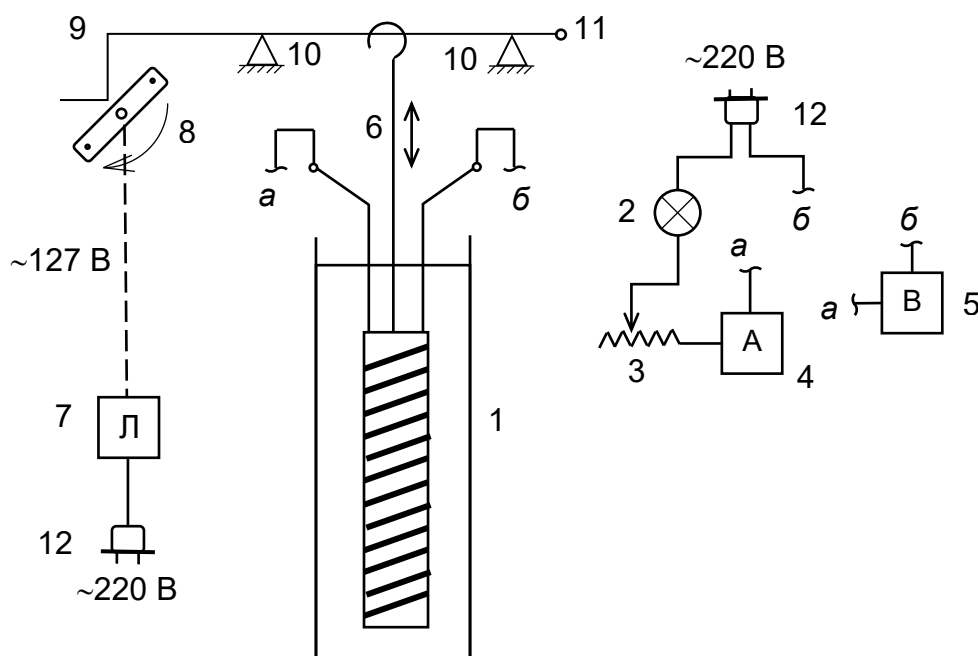


Рис.2. Принципова схема експериментального стенду: 1 – реактор з електродним спіральним блоком; 2 – лампа розжарювання (сталий електричний опір); 3 – реостат (змінний електричний опір); 4 – амперметр; 5 – вольтметр; 6 – рухома підвіска електродного блоку до коливального пристрою; 7 – лабораторний автотрансформатор 220/127 В; 8 – обертовий пристрій; 9 – важіль коливального пристрою; 10 – опори коливального пристрою; 11 – вісь коливального пристрою; 12 – приєднання блоків та елементів до мережі ~220 В

За законом Фарадея [5] маса металу електроду (в даному випадку – алюмінію), яка надходить у розчин в процесі електролізу та формує дозу коагулянту $Al(OH)_3$, прямо пропорційна добутку сили струму на тривалість обробки. Тому автори особливо ретельно відслідковували стабільність сили струму та напруги на електродах під час проведення кожного досліду. З метою гідромеханічної депасивації електродів і підтримання відносної стабільності величини струму в часі до складу експериментального стенду введено спеціальний коливальний блок, який забезпечує періодичність циклу «підйому-опускання» електродного блоку в реакторі.

Дослідження проводилися на модельному забарвленому розчині (барвник «Javaпа», колір бордо). Концентрація барвника складала 400 мг/дм^3 . Оцінка ступеню знебарвлення обробленого в електрокоагуляторі робочого розчину забезпечувалась шляхом визначення коефіцієнту світлопропускання ($T, \%$) у концентраційному фотоелектроколориметрі КФК-2.

Для оперативної оцінки ефекту знебарвлення до початку експериментів було досліджено залежність ймовірного ефекту знебарвлення ($E, \%$) (за ступенем розведення модельного розчину) від величини коефіцієнту $T, \%$ (табл.3) та побудовано відповідний графік (рис.3).

Таблиця 3

Побудова калібрувальної кривої для розчину $C = 400 \text{ мг/дм}^3$ (КФК-2)

№ проби	Об'єм дистильованої води, см^3	Об'єм робочого розчину, см^3	$E, \%$	$T, \%$
1	95	5	95	98
2	90	10	90	92
3	80	20	80	82
4	70	30	70	73
5	60	40	60	65
6	50	50	50	55
7	40	60	40	40
8	30	70	30	35
9	20	80	20	28
10	10	90	10	27
11	0	100	0	26

Характер залежності $E = f(T)$ (калібрувальна крива) свідчать про те, що робочий модельний розчин барвника, що був використаний у даному експерименті, має власний коефіцієнт світлопропускання при концентрації 400 мг/дм^3 $T = 26\%$.

Комплексну інформацію про експериментально отримані значення коефіцієнту $T, \%$ і розраховані за калібрувальною кривою відповідні значення ефекту знебарвлення $E, \%$ у запланованих діапазонах величин сили струму I (від 0,2 до 0,42 А) та тривалості обробки водного розчину барвника у реакторі (електрокоагуляторі) t (від 3 до 15 хв.) подано в табл.4.

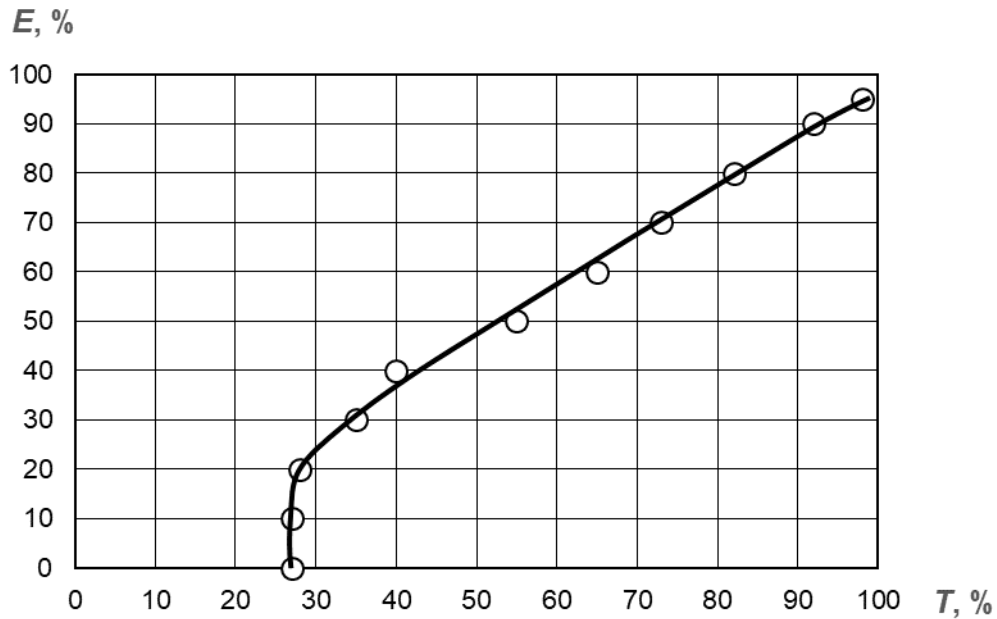


Рис.3. Калібрувальна крива для розчину $C = 400 \text{ мг/дм}^3$

Технологічні можливості досліджуваного електрокоагулятора мають верхню межу ефективності знебарвлення даного розчину на рівні 79 ...90%, а нижню межу – 22...26%.

За даними табл.4 побудовано графіки залежності коефіцієнту світлопропускання $T, \%$ та ефекту знебарвлення $E, \%$ від питомої витрати електроенергії $P, \text{ А}\cdot\text{с/дм}^3$ (рис.4).

За даними [1] вода для промивання двокамерних реакторів технологічної лінії при кількості в межах $0,15...0,18 \text{ м}^3$ (1 раз у 2 доби) має власну забарвленість на рівні коефіцієнту $T = 35...45\%$. За умовами нашого експерименту (рис.4) це відповідає необхідному ефекту знебарвлення в межах 32...43% при питомій витраті електроенергії близько $90...95 \text{ А}\cdot\text{с/дм}^3$.

Тоді, згідно з базовими положеннями закону Фарадея [5], максимальна можлива питома втрата маси алюмінієвого спірального електродного блоку складатиме:

$$m_{max} = \frac{9 \text{ г}\cdot(90 \dots 95) \text{ А}\cdot\text{с}}{96500 \text{ А}\cdot\text{с/дм}^3} \cong 8 \dots 8,5 \text{ мг/дм}^3,$$

а добова витрата алюмінію становитиме:

$$m_{доб} = \frac{(8 \dots 8,5) \text{ г}\cdot(0,15 \dots 0,18) \text{ м}^3}{\text{м}^2 \cdot 2 \text{ доб}} = 0,6 \dots 0,75 \text{ г/доб},$$

або близько $0,22...0,27 \text{ кг/рік}$.

При силі струму, наприклад, $0,2 \text{ А}$ напруга на електродах складає $5,6 \text{ В}$, тобто питома споживча електрична потужність сягатиме (при питомій витраті електроенергії $90...95 \text{ А}\cdot\text{с/дм}^3$) близько $504...532 \text{ Вт}\cdot\text{с/дм}^3$ або $0,14...0,15 \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^3$.

При 2-добовій витраті води $0,15...0,18 \text{ м}^3$ місячна споживана потужність дорівнюватиме $0,315...0,405 \text{ кВт}\cdot\text{год/міс}$, або $3,8...4,9 \text{ кВт}\cdot\text{год/рік}$.

Результати дослідів

№серії	Сила струму I , А	Напруга U , В	Тривалість t , хв.	Питомі витрати		T , %	E , %	Примітки
				ел.енергії P , А·с/дм ³	потужності W , Вт·с/дм ³			
1	0,2	5,6	15	225	1260	81	79	Об'єм робочого розчину $V_p = 0,8$ дм ³
			12	180	1008	80	78	
			9	135	758	80	78	
			6	90	505	34	28	
			3	45	253	30	22	
2	0,25	6,7	15	281	1885	82	80	
			12	225	1508	79	77	
			9	169	1134	80	78	
			6	113	756	67	63	
			3	56	378	30	22	
3	0,3	7,65	15	338	2582	82	80	
			12	270	2066	80	78	
			9	203	1553	81	79	
			6	135	1035	77	74	
			3	68	518	30	22	
4	0,35	8,5	12	316	2686	80	78	
			9	237	2020	82	80	
			6	158	1346	80	78	
			3	79	673	32	26	
5	0,4	9,36	9	270	2527	79	77	
			6	180	1685	81	79	
			3	90	842	35	30	
6	0,42	9,7	9	283	2750	81	79	
			6	189	1833	80	78	
			3	95	917	40	36	

Висновки

1. Показана принципова можливість електрокоагуляційного знебарвлення робочого розчину барвника «Javaпа» (концентрація активної речовини 400 мг/дм³) з використанням в якості електродного блоку алюмінієвих спіральних електродів.

2. Для досягнення рівня ефективності знебарвлення води від промивання двокамерних реакторів-стабілізаторів в межах 32...43% (за технологічним регламентом лінії по виробництву друкарських фарб) питома витрата електроенергії складає 90...95 А·с/дм³, а питома витрата маси алюмінію 8...8,5 мг/дм³.

3. При 2-добовій витраті промивної води 0,15...0,18 м³ питома споживана електрична потужність дорівнює близько 0,14...0,15 кВт·год/м³, що відповідає місячній споживаній потужності 0,315...0,405 кВт·год/міс, або 3,8...4,9 кВт·год/рік.

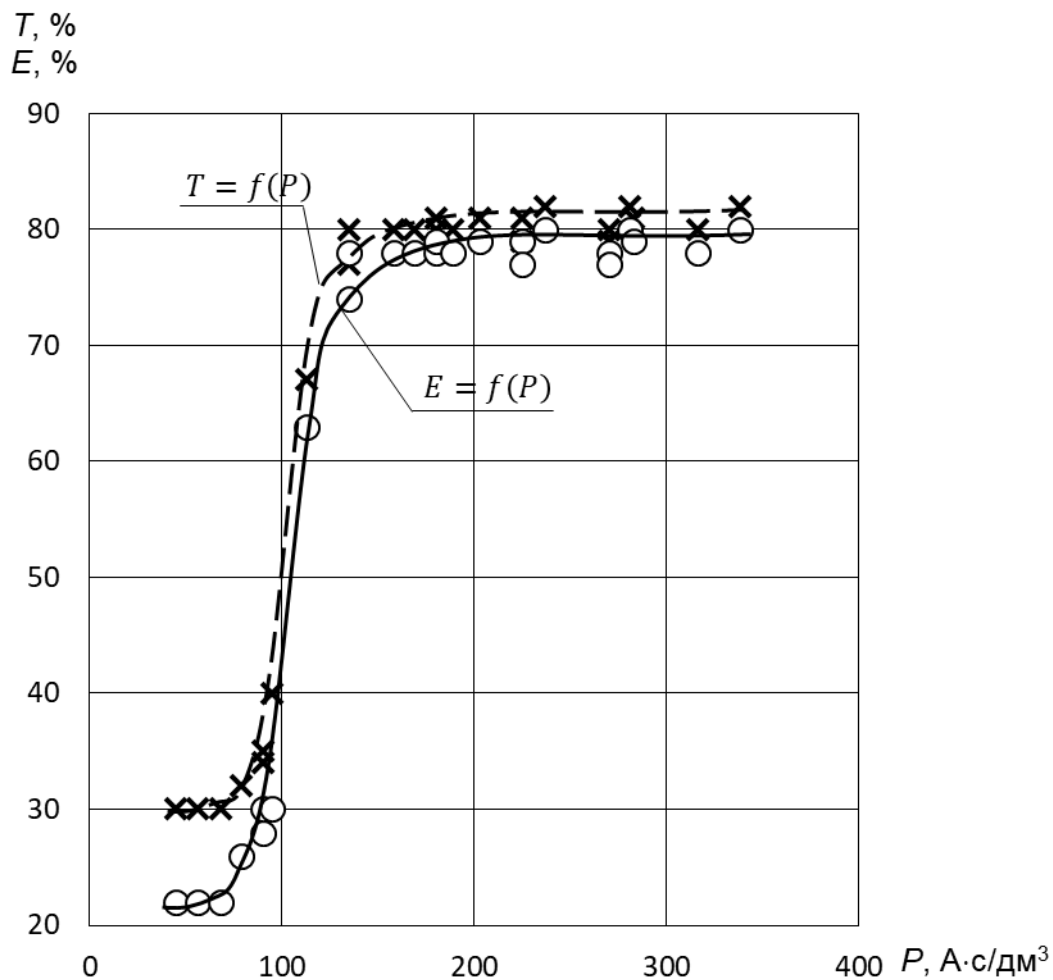


Рис.4. Графіки залежності коефіцієнту світлопропускання T , % та ефекту знебарвлення E , % від питомої витрати електроенергії P , А·с/дм³

Список літератури

1. *Технічний звіт відділу головного технолога хіміко-технологічного заводу (ВО «Сумихімпрепарат»)*. Відомч.реєстр.№6312/хт. Суми, 2014. С.18-20.
2. *Химическая энциклопедия* (в 5 томах), том 3, «Красители». М.: Советская энциклопедия, 1990. 820 с.
3. *Фізико-хімічні методи очищення води. Керування водними ресурсами* / Під ред. І.М. Астреліна, Х. Ратнавіри. К.: Водна гармонія, 2015. 577 с.
4. *А.с.СССР №1074832 «Электрокоагулятор»* / Злобина В.С., Малько В.Ф., Светашова Е.С. 1983.
5. *Яковлев С.В., Краснобородько И.Г., Рогов В.М.* Технология электрохимической обработки воды. Л.: Стройиздат, 1987. 312 с.

Стаття надійшла до редакції 1.12.17