

### Список літератури

1. А.В.Галата, О.О.Карпенко, О.М.Швець. Дослідження радіаційного стану м. Дніпродзержинська із застосуванням ГІС-технології // Збірник наукових праць ДДТУ.- 2009. - Вип.3 (13). – С. 146-153.
2. А.В.Галата, О.О.Карпенко, О.В.Дзюба Контроль радіаційного фону рекреаційних зон лівобережжя (Голубе озеро і прибережна зона водосховища). // Збірник наукових праць ДДТУ.- 2009. - Вип.3 (13). – С. 153 -156.
3. ArcGis 9, ArcMap. Руководство пользователя. Пер.с англ.– М.: Дата +, 2001.- 546 с.
4. Лакин В.М. Биометрия: Учеб. пособие для биол. спец. вузов. – 4-е изд, перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1990. - 352с.
5. Де Мерс, Майкл Н. Географические информационные системы. Основы: Пер. с англ. – М.: Дата +, 1999.- 489 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.  
Надійшла до редакції 24.05.11*

УДК 628.543.004

© М.О. Трофіменко, Л.О. Зеленська, О.В. Гаряга

## **ЕКОЛОГІЧНА ЕКСПЕРТИЗА ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ВИСОКОМІНЕРАЛІЗОВАНИХ СТІЧНИХ ВОД ХІМЦЕХА ТЕЦ**

Досліджено процес реагентної обробки стічної води з метою повернення її у зворотне водопостачання. Установлено, що методом содо-вапнування з коагуляцією можна досягти зниження жорсткості до 0,0005 моль/л. Зіставлені результати розрахункових і експериментально знайдених доз реагентів для здійснення процесу. Запропоновано формулу розрахунку з упрощенням поправки на дозу одного з реагентів з урахуванням вмісту магнію в стічній воді.

Исследован процесс реагентной обработки сточной воды с целью возврата ее в оборотное водоснабжение. Установлено, что методом содо-известкования с коагуляцией можно достигнуть снижения жесткости до 0,0005 моль/л. Сопоставлены результаты расчетных и экспериментально найденных доз реагентов для осуществления процесса. Предложена формула расчета с введением поправки на дозу одного с реагентов с учетом содержания магния в сточной воде.

Process reagent processing of waste water is investigated with the purpose of its return to turn-around water supply. It is established, that a method of soda-liming with coagulation it is possible to reach decrease in rigidity up to 0,0005 mole/l. Results of the settlement and experimentally found dozes of reagents for realization of process are compared. The formula of calculation of the amendment on a doze of necessary soda is offered in view of the maintenance of magnesium in sewage.

У наш час дуже гостро стоїть питання охорони навколишнього середовища. У зв'язку із цим актуальний пошук способів очищення стічних вод діючих виробництв. Особливо важливо здійснити очищення стічних вод до таких норм, щоб воду можна було повернути у виробництво й тим самим знизити водозабір без шкоди для діючого виробництва і покращення екологічної ситуації.

Мета нашого дослідження – експертна перевірка рекомендацій проектантів [3], рівняння (1, 2) для реагентної обробки стічних вод хімцеха ТЕЦ ВАТ

„ДніпроАзот”. Нами обрана реагентна очистка, як найбільш прийнятна для вод даного складу (табл. 1), що включає вапнування, коагуляцію й содування. Відомо, що при вапнуванні вода збагачується іонами  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{OH}^-$ . Іони гідроксиду забезпечують зв'язування розчиненого вільного оксиду вуглецю й бікарбонатних іонів з утворенням важкорозчинного карбонату кальцію, що випадає в осад [1]. При вапнуванні відбувається також видалення з води магнію у вигляді важкорозчинного гідроксиду.

Для зниження лужності води, видалення грубодисперсних і колоїдних домішок, зниження окислюваності оброблюваної стічної води одночасно з вапнуванням здійснювалася й коагуляція. Як коагулянт використаний сульфат заліза (II). Лужність води при цьому знижується за рахунок гідролізу коагулянту і йонів водню, що виділяються при цьому. При вапнуванні усувається карбонатна й магнієва жорсткість.

Таблиця 1

Характеристика складу стічних вод

Склад стічних вод	1	2	3	4	5	6
pH	9,66	10,51	8,26	8,30	7,95	8,0
Жорсткість, мг-екв/дм <sup>3</sup>	0,0023	0,0040	0,0056	0,0058	0,0083	0,0084
$\text{Ca}^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup>	74,0	137,0	152,0	204,0	270,0	284,0
$\text{Mg}^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup>	10,94	15,20	43,78	17,63	36,48	33,44
Лужність, мг-екв/дм <sup>3</sup> Загальна	1,23	1,34	2,05	2,16	2,96	2,97
- гідратна	0,0	0,02	0,0	0,0	0,0	0,0
- карбонатна	0,66	1,32	0,18	0,0	0,0	0,0
- бікарбонатна	0,57	0,0	1,87	2,16	2,96	2,97
Зважені, мг/дм <sup>3</sup>	90,0	250,0	113,5	66,0	9,5	60,0
Сухий залишок	1377,0	1417,0	2281,0	2020,0	1795,0	1906,0
Окислюваність, KMnO <sub>4</sub> /дм <sup>3</sup>	39,0	25,6	48,64	38,66	55,68	52,2
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	1094,2	806,4	1440,0	1317,2	998,4	998,4
Fe <sub>3</sub> <sup>3+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>			0,196	0,113		
SiO <sub>3</sub> , мг/дм <sup>3</sup>			6,2	5,8		
CL <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>			36,21	25,79		
CO <sub>2</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	0,0	0,0			11,0	24,2
Забарвленість, градуси	53		41			

В оброблюваних стічних водах більша частка жорсткості є некарбонатною, так як обумовлена наявністю сульфатів і хлоридів. Для усунення ж некарбонатної жорсткості використовується содування.

В рекомендаціях [1, 2] наводяться формули розрахунку доз реагентів вапна, коагулянту й соди для очищення природних вод. Для стічних вод такі формули не наводяться. Нами здійснювався експериментальний підбір доз реагентів відповідно до рекомендацій [3].

Слід зазначити, що кількості вапна й коагулянту, підібрані експериментально, близькі до розрахованих за формулами (1 та 2):

$$D_{\text{в}} = 28 \left( \frac{[CO_2]}{22} + J_{\text{к}} + \frac{[Mg^{2+}]}{12} + \frac{D_{\text{к}}}{E_{\text{к}}} + 0,5 \right), \quad (1)$$

де  $D_{\text{в}}$  — доза вапна в перерахунку на суху речовину, мг/л;  $[CO_2]$  і  $[Mg^{2+}]$  — концентрація у воді вільного оксиду вуглецю й магнію відповідно, мг/л;  $J_{\text{к}}$  — карбонатна жорсткість води, мг-екв/л;  $D_{\text{к}}$  — доза коагулянту в перерахунку на безводний продукт, мг/л;  $E_{\text{к}}$  — Еквівалентна маса активної речовини коагулянту, мг-екв/л; 0,5 — надлишок вапна, мг-екв/л.

$$D_{\text{к}} = 3\sqrt[3]{C}; \quad (2)$$

де  $C$  — кількість суспензії, що утворюється при пом'якшенні води (у перерахунку на суху речовину), мг/л. При вапняно-содовому пом'якшенні  $C$  може бути розрахована за формулою:

$$C = M_{\text{и}} + 50 \left( J_0 + J_{\text{к}} + \frac{[CO_2]}{22} + 0,5 \right) + 29 \frac{[Mg^{2+}]}{12} + D_{\text{к}} \left( \frac{100 - m}{100} \right), \quad (3)$$

де  $M_{\text{и}}$  — вміст зважених речовин у вихідній воді, мг/л;

$J_0$  — загальна жорсткість води, мг-екв/л;  $m$  — вміст CaO в товарному вапні, %.

Отримані результати експериментальної перевірки показали, що дози соди, необхідні для зниження некарбонатної жорсткості для всіх досліджених сполук води, перевищують розраховані величини.

У таблиці 2 наведені дози соди, розраховані за формулою (4) і підібрані експериментально.

$$D_{\text{с}} = 53 \left( J_{\text{н.к}} + \frac{D_{\text{к}}}{E_{\text{к}}} + 1,5 \right). \quad (4)$$

Як слідує з табл. 2, практично для всіх досліджуваних складів стічних вод фактична доза соди більше розрахованої, хоча ми приймали надлишок, максимальний із рекомендованих [3], рівний 0,00075 моль/л. Особливо велике розходження доз соди

розрахованої і знайденої експериментально спостерігається для складів води з підвищеною окислюваністю більше 45 мг  $O_2$ /л по перманганату (3, 5, 6 склади).

У роботі [2] щодо природних вод вважають, що підвищений вміст органічних домішок, що обумовлюють високу окислюваність, діють як захисні колоїди й перешкоджають осадженню іонів, що обумовлюють жорсткість. Для зниження жорсткості вони рекомендують видаляти органічні домішки коагулянтном перед пом'якшенням, але ж це означатиме установку подвійного обладнання, що економічно недоцільно.

Нами перевірено приведена вище рекомендація для оброблюваних високомінералізованих стічних вод. Ми проводили попередню коагуляцію для чотирьох складів стічних вод з високої окислюваністю. Потім розчин фільтрували й прояснену частину води піддавали обробці вапняним молоком і розчином соди. Аналіз проясненого розчину показав, що окислюваність залишилася на тому ж рівні, як і при звичайній обробці — 30-40 мг О<sub>2</sub>/л.

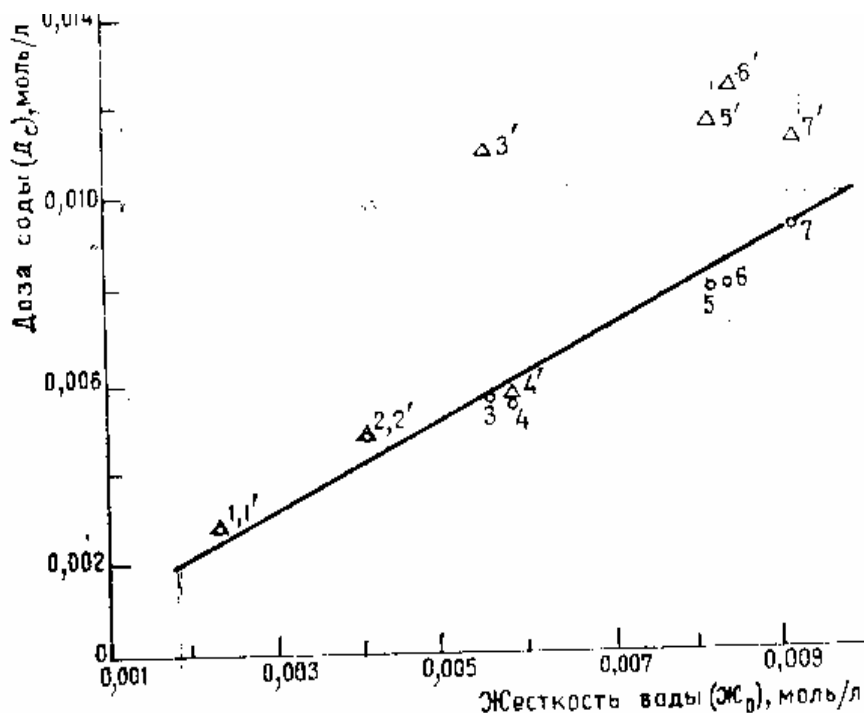
Таблиця 2

Дози доданих до стічної води реагентів і якість отриманої після обробки води (доза коагулянта постійна – 0,00011 моль/л)

Склад стічних вод	1	2	3	4	5	6	7
Дса (он), моль/дм <sup>3</sup>	0,0009	0,0010	0,0019	0,0013	0,0021	0,0022	0,0016
ДNa <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , моль/дм <sup>3</sup> розрах.	0,0026	0,0044	0,0055	0,0054	0,0077	0,0077	0,0091
ДNa <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , моль/дм <sup>3</sup> факт.	0,0026	0,0044	0,011	0,0057	0,012	0,012	0,011
pH	10,75	10,90	10,75	10,32	10,50	10,90	10,90
Жорсткість, моль/дм <sup>3</sup>	0,00045	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004
ССа <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	10	12	5	13	6	10	8
СMg <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	4,87	4,86	5,0	4,46	9,73	7,29	3,20
Лужність, мг-екв/дм <sup>3</sup> Загальна	2,0	1,78	8,95	1,90	5,73	7,99	3,20
- гідратна	0,0	0,46	0,0	0,12	0,0	0,95	0,30
- карбонатна	1,53	1,32	7,20	1,72	5,50	7,0	2,90
- бікарбонатна	0,47	0,00	1,75	0,06	0,23	0,00	0,00
Завислі, мг/дм <sup>3</sup>		25,0	17,5		40,0	23,5	
Сухий залишок мг/дм <sup>3</sup>		1345,0			1876,0	2048,0	
Окислюваність, мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>		21,1	31,4	23,5	39,04	24,3	14,1
об'єм шламу, %	2,2	4,0	3,6	2,1	3,0	1,6	2,6
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>		844,8	1363		910,0	1067,5	
Fe <sub>3</sub> <sup>3+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>			0,16		0,05		
SiO <sub>3</sub> , мг/дм <sup>3</sup>			5,25		5,70		
CL <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>					51,8	23,5	

Ймовірно, у стічних водах на механізм структуроутворення осаду впливають поряд з окислюваністю й інші фактори, зокрема, вміст магнію, здатного

утворювати гідроксиди, що мають гелеву структуру. Так, для складу вод № 1, 2, 4, у яких магнію вміщується менше 20 мг/л, досить гарна відповідність розрахункової й експериментально знайденої дози соди (рис. 1).



о — розрахункові дози  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ;  $\Delta$  — практично підібрані дози

Рис. 1. Розрахункові й експериментальні дози соди, необхідні для пом'якшення вихідної стічної води

У складах стічних вод № 3, 5 — найбільший вміст магнію, 36-48 мг/л і відмінність розрахункових і фактичних доз максимальна. Для сполуки № 6 характерні й великий вміст магнію, і висока окислюваність. Для цієї води розходження доз соди розрахункової й експериментальної також максимальне (рис. 1). З рис. 2 видно, що між вмістом магнію в стічній воді й надлишком соди, необхідної для зм'якшення води до 0,0005 моль/л, простежується пряmolінійна залежність.

Математична обробка отриманої закономірності дозволила вивести рівняння :

$$\Delta D_c = 0,43 [\text{Mg}^{2+}] - 2, \quad (5)$$

де  $\Delta D_c$  — надлишкова кількість соди, моль/л, у порівнянні з розрахованою, необхідна для пом'якшення стічної води до 0,0005 моль/л солей жорсткості ( $D_{c.p.} - D_{c.n.}$ );  $[\text{Mg}^{2+}]$  — концентрація магнію, що міститься в стічній воді, мг/л.

Використовуючи отриману формулу (5), можна у формулу (4) внести поправку у бік збільшення розрахункової кількості соди на величину  $\Delta D_c$ . Формула (4) набуде при цьому наступний вигляд:

$$D_c = 53 \left( J_{n.k.} + \frac{D_k}{E_k} + 1,5 + 0,43 [\text{Mg}^{2+}] - 2 \right) = 53 \left( J_{n.k.} + \frac{D_k}{E_k} + 0,43 [\text{Mg}^{2+}] - 0,5 \right). \quad (6)$$

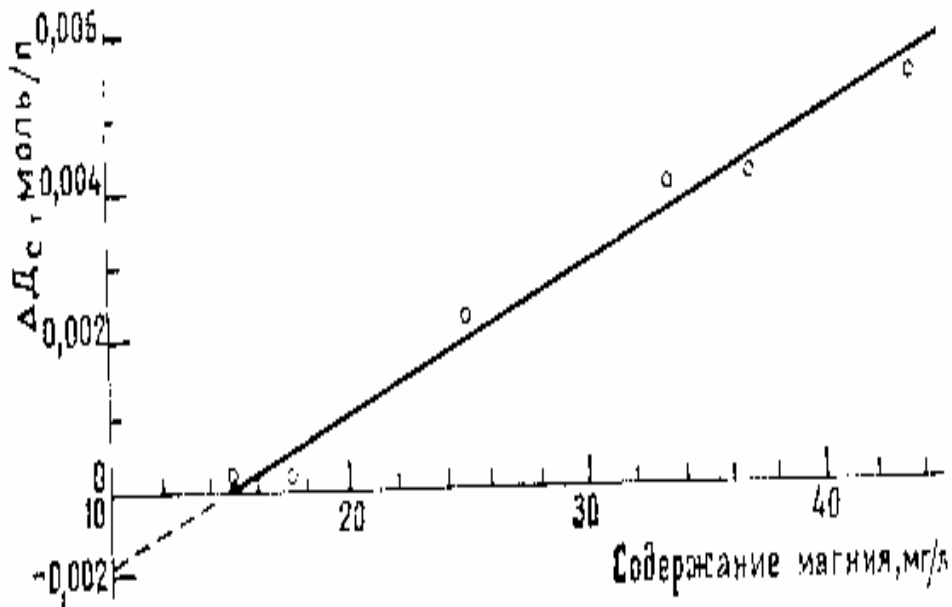


Рис. 2. Вплив вмісту магнію в стічній воді на надлишкову кількість соди, необхідної для пом'якшення води

**Висновки:** Впровадження традиційної (в системі очищення природних вод) технології коагуляційної обробки води содо-вапняним методом неможливе без попередньої доробки в технології очищення стічних вод.

Домішки, що не включаються в структуру кристалів осаду при кристалоутворенні, потребують додаткової кількості реагентів, в порівнянні з класичними розрахунковими дозами.

Нами запропонована формула, яка враховує кількість домішок магнію, що містяться в стічній воді для розрахунку поправки.

За даною формулою (6) можна робити розрахунок кількості соди, необхідної для дозування при содовапняному пом'якшенні стічних вод з високим солевмістом, при наявності магнію більше 10% від вмісту кальцію.

#### Список літератури

1. Белан Ф. И. Водоподготовка. М.: Энергия, 1980. – 256 с.
2. Кульский Л. А., Строкач П. П. Технология очищения природных вод. Київ.: Вища школа, 1981. – 234 с.
3. Технічна вказівка на проектування, будівництво й експлуатацію контактних освітлювачів. М.: Академія комунального господарства ім. Памфілова, 1977.
4. А.К. Запольський, Н.А. Мішкова-Клименко, І.М. Астрелін Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод: Підручник. – К: Лібра, 2000. – 552с.
5. Зубик С.В. Техноекологія. Джерела забруднення і захист навколишнього середовища: Навчальний посібник. – Львів: Оріяна –Нова, 2007. – 400с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.  
Надійшла до редакції 20.05.2011*