

ВПЛИВ АЕРАЦІЇ ТА ЕЛЕКТРОЛІЗУ НА ЗНИЖЕННЯ ВМІСТУ ЗАЛІЗА

М. Д. Гомеля, І. М. Трус, В. М. Грабітченко

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

пр. Перемоги 37, м. Київ, 03056, Україна. E-mail: inna.trus.m@gmail.com

Проаналізовано форми існування заліза у природних водах та методи знезалізнення води. Доведено застосування методу спрощеної аерації для зниження вмісту заліза у воді. Дослідження проводили при кімнатній температурі з використанням мікрокомпресора для аерації води. На основі проведених експериментів встановлено, що при вихідній концентрації заліза $0,65 \text{ мг/дм}^3$ для досягнення вмісту заліза у воді менше $0,3 \text{ мг/дм}^3$ достатньо початкової аерації протягом 1-5 хв. При підвищенні вмісту заліза у вихідній воді до $7,0 \text{ мг/дм}^3$ аерація протягом 10 хв. дозволяє зменшити залишковий вміст заліза до $0,52 \text{ мг/дм}^3$, при дозволеному не більше $0,3 \text{ мг/дм}^3$. Розглянуто метод видалення з води заліза в процесі електролізу. Проведено процес знезалізнення на електролізері з різними концентраціями заліза. В роботі було використано однокамерний електролізер, як катод використовували пластину із легованої сталі 12X18H10T, в якості аноду – титанову пластину, покриту оксидом рутенію. Встановлено, що допустиму концентрацію заліза у воді можна досягти при часі електролізу 1 та 3 хв. для вмісту заліза у вихідній воді $0,65$ та $7,00 \text{ мг/дм}^3$ відповідно, при цьому ступінь очищення води від заліза становить 77-88% і 90-100% відповідно. Вивчено закономірності окислення заліза при електролізі з наступним визначенням оптимальних умов процесу та розробки рекомендацій до практичного застосування одержаних результатів.

Ключові слова: аерація, знезалізнення води, електроліз, підземні води, фільтрування

ВЛИЯНИЕ АЭРАЦИИ И ЭЛЕКТРОЛИЗА НА СНИЖЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА

Н. Д. Гомеля, И. Н. Трус, В. Н. Грабитченко

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

пр. Победы 37, г. Киев, 03056, Украина. E-mail: inna.trus.m@gmail.com

Проанализировано формы существования железа в природных водах и методы обезжелезивания воды. Доказано применения метода упрощенной аэрации для снижения содержания железа в воде. Исследования проводили при комнатной температуре с использованием микрокомпрессора для аэрации воды. На основе проведенных экспериментов установлено, что при исходной концентрации железа $0,65 \text{ мг/дм}^3$ для снижения содержания железа в воде меньше $0,3 \text{ мг/дм}^3$ достаточно начальной аэрации на протяжении 1-5 мин. При повышении содержания железа в исходной воде до $7,0 \text{ мг/дм}^3$ аэрация на протяжении 10 мин. позволяет уменьшить остаточное содержание железа до $0,52 \text{ мг/дм}^3$, при разрешенном не более $0,3 \text{ мг/дм}^3$. Рассмотрено метод удаления с воды железа в процессе электролиза. Проведено процесс обезжелезивания на электролизере с разными концентрациями железа. В работе был использован однокамерный электролизёр, в качестве катода использовали пластину с легированной стали 12X18H10T, как анод – титановую пластину, покрытую оксидом рутенія. Установлено, что допустимую концентрацию железа в воде можно достичь при времени электролиза 1 и 3 мин. для исходного содержания железа в воде $0,65$ та $7,00 \text{ мг/дм}^3$ соответственно, при этом степень очистки воды от железа становит 77-88% і 90-100%. Выучено закономірності окислення заліза при електролізі з наступним визначенням оптимальних умов процесу і розробки рекомендацій к практичному результату.

Ключевые слова: аэрация, обезжелезивание воды, электролиз, подземные воды, фильтрование.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Проблема побутово-питного водоспоживання і охорони поверхневих і підземних вод від забруднень стічними та шахтними водами є проблемою державного значення. В Україні широко ведуться роботи з видобування залізної руди відкритим і закритим способами, при яких утворюється велика кількість кар'єрних вод, забруднених сполуками заліза, нафтопродуктами, сульфатами, хлоридами, завислими та іншими речовинами. Спосіб очищення високомінералізованих вод від сульфатів з одночасним пом'якшенням розглянуто в роботі [1]. Перед скидом таких вод у поверхневі водойми їх необхідно очищати від забруднюючих речовин, насамперед, від заліза [2].

В Україні понад 50% експлуатаційних запасів

підземних вод мають підвищений вміст заліза, який коливається від $0,5$ до 30 мг/дм^3 і більше (найчастіше $3...5 \text{ мг/дм}^3$). Надмірна кількість заліза надає воді металевий присмак, спричиняє появу неприємного запаху, каламутності, забарвлення води, викликає заростання водорозподільних мереж та є причиною браку в паперовій, текстильній, харчовій, хімічній та інших галузях промисловості [3]. Крім того, ці колоїдні речовини сорбують іони важких металів та радіонуклідів, що призводить до тяжких захворювань людини. Тому вміст заліза у питній воді не повинен перевищувати $0,3 \text{ мг/дм}^3$ [4].

У природних водах (поверхневих і артезіанських) залізо перебуває в двох формах: окислення Fe^{2+} , Fe^{3+} та в комплексній формі (рис.1).

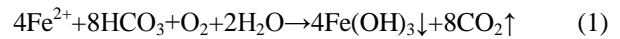
Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування

Це можуть бути неорганічні і органічні сполуки, які знаходяться у воді в розчиненому, колоїдному і завислому станах. Поява заліза в артезіанських водах, насамперед, пов'язано з розчиненням залізистих порід. У присутності кисню сполуки заліза (II) нестійкі і окислюються з утворенням сполук заліза зі ступенем окиснення +3. Сполуки заліза (III), як правило, зустрічаються в підземних водах. Вміст їх зазвичай не перевищує 1 мг/дм³, але може досягати декількох десятків мг/дм³. Основні форми вмісту заліза (II): гідрокарбонат заліза (II) і сульфат заліза (II).

Наявність різних форм сполук заліза у воді наведено на рис. 1 [5].

В підземних водах залізо знаходиться у вигляді бікарбонату закисного заліза [6]. Залізо може знаходитись у вигляді комплексних органічних сполук, коли водоносний горизонт підживлюється водами річки або боліт. При значеннях pH > 4,5 двовалентне залізо окислюється до тривалентного і випадає в осад у вигляді гідроксиду, при цьому повнота окислення підвищується зі збільшенням pH. У відновному середовищі за наявності у воді

карбонатів, тобто при pH > 8,4 з води може випадати карбонат заліза. При контакті з повітрям вода збагачується киснем і окислювальний потенціал системи підвищується. Якщо при цьому в результаті видалення частини вуглекислоти pH води зростає до величини, при якій при даному окислювальному потенціалі випадає гідроксид заліза, починається процес знезалізнення води. При вмісті у воді бікарбонатних іонів процеси окислення двовалентного заліза в тривалентне і гідролізу можуть бути представлені таким чином:



Залежно від умов (величина pH, наявність окислювачів і відновників, їх концентрація і т. п.) окислення може передувати гідролізу, йти паралельно з ним або окисленню можуть піддаватися продукти гідролізу двовалентного заліза. Незалежно від послідовності процесів окислення і гідролізу, їх кінцевим результатом є утворення пластівцеподібної суспензії гідрату окису заліза.

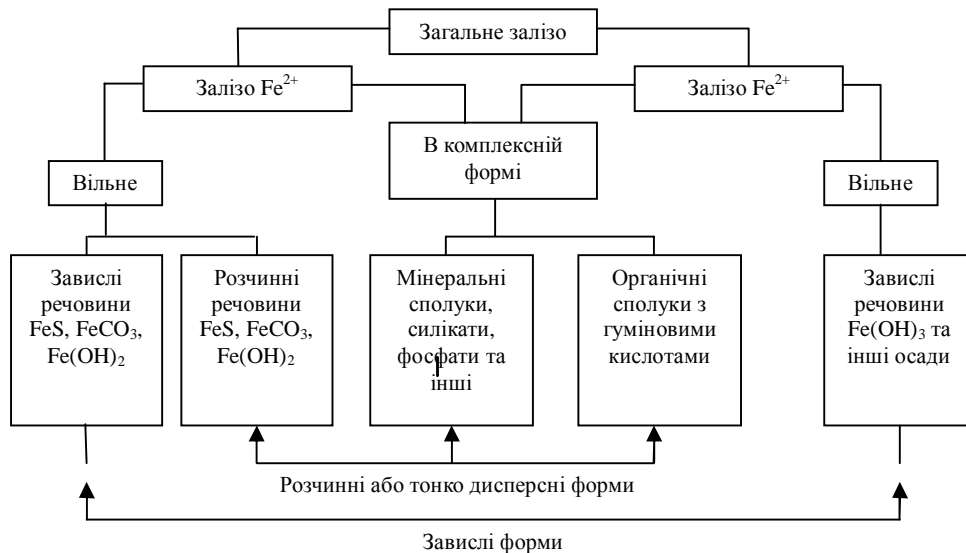


Рисунок 1 – Схеми існування різних форм заліза у воді [5]

Для знезалізнення підземних вод застосовуються різні методи: спрощена аерація з наступним фільтруванням; аерація з вапнуванням і хлоруванням; коагулювання сульфатом алюмінію з попередніми хлоруванням; фільтрування води через завантаження з піролюзита; катіонування води. Для видалення заліза з поверхневих вод використовуються коагулювання, вапнування, окислювальні методи.

Найбільш простий метод знезалізнення води – аерація. він полягає в насиченні води киснем для окислення сполук заліза (II) і переведення їх у важкорозчинний гідроксид заліза (III). лужність води повинна бути не менше 2 мг-екв / л, а pH > 7.

Досвід експлуатації більшості станцій знезалізнення підземних вод свідчить, що залишкова концентрація іонів Fe³⁺ у промивних водах після чотирьох годин відстоювання становить 20-50 мг/дм³ [7-10].

Метою роботи є аналіз форми існування заліза у природних водах та методи знезалізнення води.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

При проведенні лабораторних досліджень було вивчено зміну залишкового заліза в природній воді при аерації та в процесі електролізу. Показники вихідної води наведено в табл. 1, вміст заліза складає 0,40 та 0,65 мг/дм³ відповідно. У вихідний розчин 1 було введено FeSO₄·7H₂O для отримання концентрації заліза 7,0 мг/дм³.

Дослідження проводили при кімнатній температурі з використанням мікрокомпресора для аерації води, після чого визначали необхідний час аерації для ефективного знезалізнення води, та одноканального електролізу. Об'єм камери електролізу становить 100 см³, об'єм розчину в камері – 50 см³. Катод – пластина із легованої сталі 12X18H10T, анод – титанова пластина, покрита оксидом рутенію. Площа електродів S_к = S_а = 0,15

Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування

дм². Електроліз проводили при анодній густині струму 0,27 А/дм² при напрузі 50 В. Відстань між пластинами становила 0,05 м. В кінці експерименту у відфільтрованій воді визначали вміст загального заліза.

Таблиця 1– Показники фізико-хімічного складу води з природного джерела

Назва показника	Одиниця вимірювання	Вихідний розчин 1	Вихідний розчин 2	Норма по ГОСТу 2874-84[2]
Ж	мг-екв/дм ³	4,10	5,70	7,0
Ca ²⁺	мг-екв/дм ³	2,55	4,54	не регламентується
Mg ²⁺	мг-екв/дм ³	1,55	1,16	не регламентується
pH	-	8,28	7,88	6,0-9,0
SO ₄ ²⁻	мг/дм ³	41,0	2,00	500,0
Cl ⁻	мг/дм ³	177,5	8,52	350,0
Л	мг-екв/дм ³	5,80	6,45	-
Fe _{заг}	мг/дм ³	0,40	0,65	0,3
NO ₃ ⁻	мг/дм ³	0,0	1,00	45,0
Каламутність	0	37,0	37,0	20,0
Кольоровість	мг/дм ³	0,0	4,00	1,5

На основі проведених експериментів встановлено, що при вихідній концентрації заліза 0,65 мг/дм³ для досягнення вмісту заліза у воді менше 0,3 мг/дм³ достатньо початкової аерації протягом 1-5 хв. Подальша аерація води практично не впливає на зменшення вмісту заліза. При підвищенні вмісту заліза у вихідній воді до 7,0 мг/дм³ аерація протягом 10 хв. дозволяє зменшити залишковий вміст заліза до 0,52 мг/дм³, при дозволеному не більше 0,3 мг/дм³. Ступінь очищення води від заліза становить 73-85% і 77-93% для вихідних концентрацій 0,65 та 7,00 мг/дм³ (рис.2).

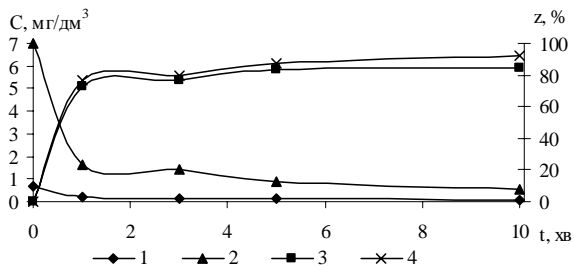


Рисунок 2 – Графік залежності концентрації заліза від тривалості аерації (1; 2) та ефекту знезалізнєння води (3; 4) при концентрації заліза у вихідній воді 0,65 мг/дм³ (1, 3) та 7,00 мг/дм³ (2, 4)

Недоліком використання безреагентних методів знезалізнєння: вакуумна-інжекційна аерація з фільтруванням, спрощена аерація з фільтруванням, фільтрування на каркасно-засипних фільтрах, фільтрування в підземних умовах з подачею у пласт повітря, напірна флотация колоїдних домішок,

способи знезалізнєння закріпленою на насадці мікрофлорою з використанням дрібнозернистих катализаторів є велика вартість знезалізнєння через необхідність використання великих об'ємів зернистої засипки і відповідно приміщень або велика вартість устаткування та обробки з використанням насадок та сорбентів. Найпростішими та економічнішими з цих апаратів є електролізери, кавітаційні реактори, градирні чи басейни з розприскувачами [11-12].

Авторами статті [13] встановлено, що кращі умови окислення заліза забезпечуються в електролізері з плоскими електродами, розташованими на відстані 0,04–0,05 м. При більших відстанях зростає опір і електроенергія перетворюється на тепло. Залежність ступеня окислення від відстані між електродами в межах від 0,02 до 0,06 м для всіх значень є лінійною.

В статтях [14-15] встановлено, що залишковий вміст заліза зі збільшенням щільності струму зменшується. Для досягнення залишкового вмісту заліза, що відповідає нормативним даним, щільність струму повинна бути більша 2,0 мА/см². Результати досліджень при постійній щільності струму 2,7 мА/см² з використанням плоских електродів представлені на рис. 3. Подальше збільшення сили струму є недоцільним через значне підвищення напруги.

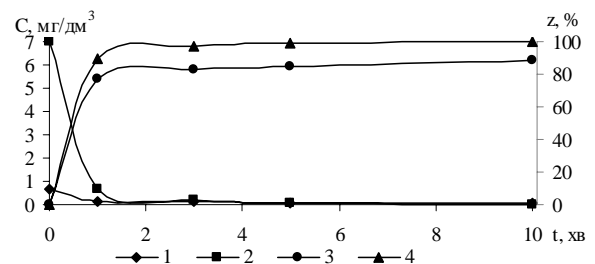


Рисунок 3 – Графік залежності концентрації заліза від часу електролізу (1; 2) та ефекту знезалізнєння води (3; 4) при концентрації заліза у вихідній воді 0,65 мг/дм³ (1, 3) та 7,00 мг/дм³ (2, 4)

З рис. 3 випливає, що допустиму концентрацію заліза у воді було отримано при часі електролізу 1 та 3 хв. для вмісту заліза у вихідній воді 0,65 та 7,00 мг/дм³ відповідно. При цьому ступінь очищення води від заліза становить 77-88% і 90-100% для вихідних концентрацій 0,65 та 7,00 мг/дм³ відповідно.

ВИСНОВКИ.

1. В результаті проведених досліджень було встановлено залежність залишкової концентрації заліза у досліджуваній воді від тривалості аерації під час знезалізнєння її методом спрощеної аерації.
2. Вивчено процеси знезалізнєння води в електролізері з плоскими анодами.
3. Показано, що запропонована технологія очищення води забезпечує зниження залишкової концентрації заліза до значень менше 0,3 мг/дм³, як і вимагають чинні норми.

ЛІТЕРАТУРА

1. Трус І. М. Очищення високомінералізованих шахтних вод від сульфатів при використанні вапна та металічного алюмінію / І. М. Трус, В. М. Грабітченко, А. І. Петриченко, М. Д. Гомеля // Екологічна безпека. – 2012. – № 2. – С. 77–79.
2. Бучек І.Ю. Аналіз стану забрудненості кар'єрних вод під час видобування залізної руди відкритим способом / І.Ю. Бучек, А.І. Святенко, В.В. Підлісник // Вісник КНУ імені Михайла Остроградського. – 2011. – № 2 (67). – С. 110–113.
3. Николадзе Г.И. Улучшение качества подземных вод. – М: Стройиздат, 1987. – 240 с.
4. ДСТУ 4808:2007. Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 36 с
5. Кулаков В.В., Сошников Е.В., Чайковский Г.П. Обезжелезивание и деманганация подземных вод: Учебное пособие – Хабаровск: ДГУПС, 1998. – 100 с.
6. Клячко В. А. Очистка природных вод / Клячко В. А., Апельцин А. С. – М.: Стройиздат, 1971. – 579 с.
7. Житенев Б.Н. Энергоэффективная технология очистки промывных вод станций обезжелезивания подземных вод / Б.Н. Житенев, Л.Е. Науменко // Конгресс “Вода – 2010”: Тез. докл. – Минск, 28 апреля 2010. – С. 26–28.
8. Житенев Б.Н. Проблемы повторного использования промывных вод станций обезжелезивания воды / Б.Н. Житенев, Л.Е. Шеина // Вест. БГТУ. Водохоз. строительство, теплоэнергетика и экология. – 2002. – № 2 (14). – С. 31–32.
9. Zogo D. Effect of pre-chlorination on the efficiency of iron and manganese removal from surface water by coagulation-flocculation using aluminium sulphate: case of the Okpara dam in the Republic of Benin / D. Zogo, L.M. Bawa, X.X. Soclo, G. Djaneve-Boundjou, D. Atchekpe // Int. J. Biol. Chem. Sci. – 2010. – 4(6). – pp. 2093–2101.
10. Zogo D. Influence of pre-oxidation with potassium permanganate on the efficiency of iron and manganese removal from surface water by coagulation-flocculation using aluminium sulphate: Case of the Okpara dam in the Republic of Benin // D. Zogo, L.M. Bawa, X.X. Soclo, D. Atchekpe // Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology. – 2011. – 3(1). – pp. 1–8.
11. Акиурин Р.Ю. Кавитационное устройство для приготовления эмульсий с использованием гидродинамической кавитации // Химическая промышленность. – 1988. – № 11.
12. Бейгельруб Г.М. Электрохимическая очистка воды // Достижения науки и техники АПК. – М., 1993. – № 3.
13. Скіра В.В. Кондиціонування води окисленням двовалентного заліза в електролізерах / В. В. Скіра, І. Л. Тимофєєв, А. Д. Молчанов, І. А. Карпінська // Хімія, технологія речовин та їх застосування : [збірник наукових праць]. – № 497. – 2004. – С. 125–127.
14. Юрков Є.В. Знезалізнєння води електрокоагуляцією / Є.В. Юрков, О.О. Садчиков // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. – №12. – 2009. – С. 20–24.
15. Семоков А.В. Обезжелезивание подземных вод с использованием перекиси водорода / А.В. Сем оков, С.В. Чекмарев, В.Д. Маслий, Ю.И. Скуратов // Водоснабжение и сан.техника. – №2. – 2007.

THE INFLUENCE OF THE AERATION AND THE ELECTROLYSIS ON THE DECREASE OF THE IRON CONTENT

M. Gomelya, I. Trus, V. Grabitchenko

National Technical University of Ukraine Kiev Polytechnic Institute
av. Peremogy, 37, Kyiv, 03056, Ukraine. E-mail: inna.trus.m@gmail.com

The forms of existence of iron in natural waters and methods of deferrization are analysed. Application of method of the simplified aeration is well-proven for the decrease of content of iron in water. Experiments were held at room temperature with using microcompressor for water aeration. On the basis of this experiments was established that at initial iron concentration of 0,65 mg/dm³ for initial iron content in the water less then 0,3 mg/dm³ enough initial aeration during 1-5 min. By increasing of iron concentration at outgoing water to 7,0 mg/dm³ aeration during 10 min permits decrease remaining iron content to 0,52 mg/dm³, at standard not over 0,3 mg/dm³. The removal of iron from water was investigated during electrolysis. The iron removal process was conducted in the electrolyzer with different iron concentration. In this work was used single-stage electrolyser, as cathode was used alloy steel plate and as anode was used titanium plate, which was covered by ruthenium oxide. Was established that acceptable iron concentration in water can be achieved at electrolysis time of 1 and 3 min for iron content in outgoing water 0,65 and 7,00 mg/dm³ accordant, at that water treatment level from iron composed 77-88% and 90-100% accordant. The received results testify to expediency of application of electrochemical methods of clearing of water and can be used for development of industrial devices.

Key words: aeration, water iron removal, underground water, filtering, electrolysis.

REFERENCES

1. Trus I.M. Cleaning highly mineralized mine waters from sulfate with using lime and metallic aluminium / I. M. Trus, V.M. Grabitchenco, A. I. Petrichenko, M.D. Gomelya // *Ecological safety*. – 2012. – № 2. – pp. 77–79.
2. Buchek I.Y. The analysis of the condition of contamination of waters mining at the open-cast iron-ore mines / I.Y. Buchek, A.I. Svjatenko, V.V. Pidlisnyuk // *Visnuk KNY Mihaila Ostrogradskogo*. – 2011. – № 2 (67). – pp. 11–113.
3. Nikoladze G. Underground improve the quality of water. – M.: Stroiizdat, 1987. – 240 p. [in Russian]
4. DSTU 4808:2007. Hygienic and ecological requirements to the quality of water and rules of selection. Kiev: Derzhspozhivstandart Ukraini, 2007. – 36 p. [in Ukrainian]
5. Kulakov V., Soshnikova E., Tchaikovsky G. Removal of iron and demanganation groundwater: Textbook – Khabarovsk: DHUPS, 1998. – 100 p. [in Russian]
6. Klyachko V., Apeltsyn A. Treatment of natural waters. – M.: Stroiizdat, 1971. – 579 p. [in Russian]
7. Zhitenev B.N. Energy-efficient treatment technology of flushing water on deferrization plants of groundwater / B.N. Zhitenev, L.E. Naumenko // Congress “Water – 2010” – Minsk – 2010. – pp. 26–28. [in Russian]
8. Zhitenev B.N. Problems of hutch water reuse on water deferrization treatments plants / B.N. Zhitenev, L. E. Sheina // *Water engineering, heat engineering and ecology*. – 2002. – № 2 (14). – PP. 31–32. [in Russian]
9. Zogo D., Bawa L.M., Soclo X.X., Djaneve-Boundjou G., Atchekpe D. Effect of pre-chlorination on the efficiency of iron and manganese removal from surface water by coagulation-flocculation using aluminium sulphate: case of the Okpara dam in the Republic of Benin. // *Int. J. Biol. Chem. Sci.* – 2010. – 4(6). – pp. 2093–2101.
10. Zogo D., Bawa L.M., Soclo X.X., Atchekpe D. Influence of pre-oxidation with potassium permanganate on the efficiency of iron and manganese removal from surface water by coagulation-flocculation using aluminium sulphate: Case of the Okpara dam in the Republic of Benin // *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology*. – 2011. – 3(1). – PP. 1-8.
11. Akiurin R. Ju. Cavitation device for preparing emulsions with using hydrodynamic cavitation // *Chemical industry*. – 1988. – № 11 [in Russian]
12. Bejgel'rub G. M. Electrochemical water treatment // *Advances in science and technology APC*. – M., 1993. – № 3. [in Russian]
13. Skira V., Timofeev I., Molchanov A., Karpinskaya I. Conditioning of water oxidation of ferrous iron in electrolyzers // *Chemistry, Technology and Applications substances*. – 2004. – № 497. – pp. 125–127. [in Ukrainian].
14. Yurkov E., Sadchykov O. Iron removal water electrocoagulation // *Problems of water supply, drainage and hydraulics*. – 2009. – № 12. – PP. 20-24. [in Ukrainian].
15. Semokov A. V., Chekmarev S. V., Maslij V. D., Skuratov Ju. I. Deferrization of ground water with using hydrogen peroxide // *Vodosnabzhenie i san. tehnika*. – 2007. – № 2.