

1. Константинов Ю.М, Гіжа О.О. Гідродинамічні характеристики підпертого гідравлічного стрибка. // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. – К: КНУБА, 2009. – № 12. – С.136–146.

2. Смыслов В.В. Теория водослива с широким порогом. – К: Изд-во АН УССР, 1956. – 184 с.

УДК 628.147.23

Т.В. АРГАТЕНКО, кандидат технічних наук

О.О. ІЩЕНКО, магістр

Київський національний університет будівництва і архітектури

В.С. ЗЛОБИНА, кандидат технічних наук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОРИГУВАННЯ pH ВОДИ БРУСИТОМ

*Представлено результати експериментальних досліджень обробки водних розчинів меленим та зернистим бруситом. Показано ефективність обробки знесоленої води з метою підвищення pH на 1...2 одиниці та можливість застосування реагенту для нейтралізації розчинів сильних кислот.*

**Ключові слова:** підлугування, зворотній осмос, гідроксид магнію, брусит.

*Представлены результаты экспериментальных исследований обработки водных растворов молотым и зернистым бруситом. Показана эффективность обработки обессоленной воды с целью повышения pH на 1...2 единицы и возможность использования реагента для нейтрализации растворов сильных кислот.*

**Ключевые слова:** подщелачивание, обратный осмос, гидроксид магния, брусит.

*The results of tests of chemical and physical properties of several phases and several phases of the hammer crushed brucite used as a reagent to adjust pH of water. The effect of using of brucite for pH correction and capacity of using brucite for neutralization acids showed.*

**Keywords:** alkalizing, reverse osmosis, magnesium hydroxide, brucite.

### Постановка задачі

Коригування pH води є одним із найпоширеніших процесів при водопідготовці та очищенні стічних вод. Так, наприклад, збільшення pH

(нейтралізація надмірної кислотності та підлугування) застосовується при коагулюванні води, пом'якшенні, знезалізненні, видаленні із води іонів важких металів тощо [1, 2].

Необхідність підвищення рН виникає також при обробці води на зворотно-осмотичних установках для зниження вмісту розчинених в ній солей. Досвід практичного використання зворотного осмосу [3] показує, що в результаті такої обробки рН води знижується на 1...2 одиниці і, залежно від вихідних значень, може вийти за межі рекомендованого ДержСанПіН нормативу для питної води 6,5...8,5. Підкислення обробленої зворотним осмосом води може бути ще відчутнішим при застосуванні розчинів сильних кислот для запобігання пасивації мембран [4, 5].

Нейтралізація та підлугування води застосовується і в реагентних технологіях з використанням таких реагентів, як вапно, сода, їдкий натр, і безреагентними методами – фільтруванням води крізь лужні мінерали (доломіт, вапняк, мармур тощо) [6, 7].

Однак, більшість із цих методів можуть супроводжуватись, наприклад, повторним забрудненням води при підлугуванні вапном чи крейдою, тобто викликати необхідність застосування додаткових фільтрів та споруд по обробці осаду. Крім того, можливим є або підвищення жорсткості в разі використання доломітів та вапняків, або різке її падіння – при передозуванні соди або рідкого натру; до того ж ці матеріали є досить дорогими.

Таким чином, постає завдання розробити таку технологію коригування рН, яка б не погіршувала основні фізико-хімічні властивості оброблюваної води. Основною задачею даних досліджень є випробування для коригування рН води природного лужного мінералу – бруситу.

### **Літературні відомості про брусит та його властивості**

Брусит – це природний мінерал класу гідроксидів  $Mg(OH)_2$ , що являє собою світло-сірий або сірий з блакитними, зеленими, бурими включеннями, однорідний, скритокристалічний матеріал. Хімічний склад характеризується найбільшим серед усіх відомих природних мінералів вмістом магнію (до 69%) з незначними домішками кальцію (2%), заліза (0,1%), кремнію (2,5%) та мікроелементів – Cu, B, Mn, Zn [8].

Брусит забезпечує більш рівномірний та плавний перехід  $Mg(OH)_2$  у розчинений стан, що запобігає різким стрибкам рН на відміну від каустичної соди. Також брусит характеризується більш високим показником лужності на одиницю маси і, за даними [9], більш ефективний при нейтралізації кислих стоків в порівнянні з NaOH або CaO, оскільки має меншу питому витрату та утворює меншу кількість нерозчинного осаду.

Виходячи з високого вмісту магнію і відсутності небажаних хімічних елементів, брусит може розглядатися як перспективний реагент при підготовці питної води.

У деяких зарубіжних джерелах [10,11,12] повідомляється про можливість і ефективність використання бруситу в якості агента, стабілізуючого рН оброблюваних середовищ, для нейтралізації кислих стічних вод і вилучення іонів металів (міді, нікелю, цинку) з природних та технологічних вод. Проте, увага дослідників в основному зосереджена на вивченні таких властивостей бруситу, що дозволяють використовувати його для очищення розчинів від небажаних компонентів, а підлогування розчинів бруситом мало освітлено.

Найбільш широке дослідження бруситу як підлогувального реагенту проведено Російським гірничо-хімічним товариством [13]. Далі наведено схеми обробки води за технологією дозування суспензії реагенту (рис.1) та фільтруванням (рис.2), що пропонуються авторами вказаних досліджень. Однак, наведені в [13] дані стосуються обробки кислих технологічних стічних вод, тож описаний авторами механізм і кінетика підлогування, не можуть бути застосовані при вивченні процесів обробки води, опрісненої зворотнім осмосом.

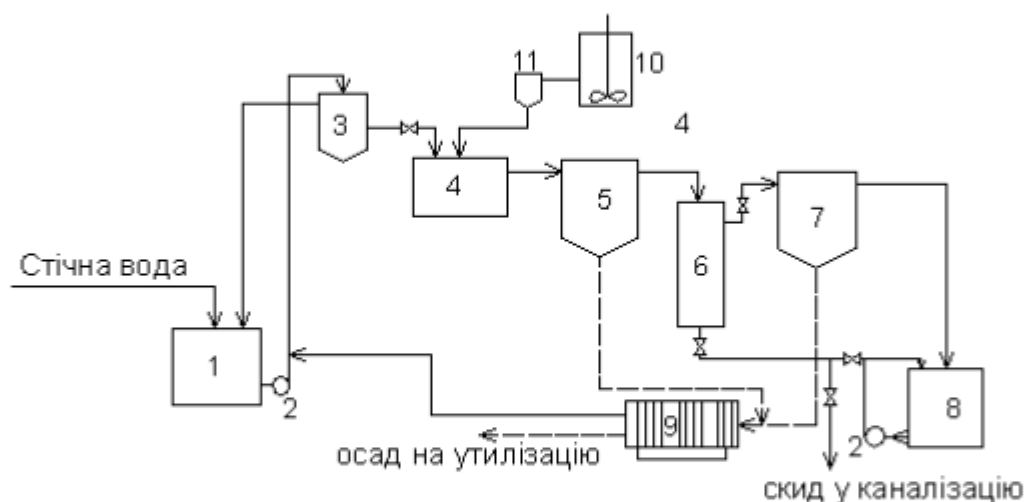


Рис.1. Принципова схема нейтралізації та очистки кислих стічних вод з використанням меленого бруситу:

- 1 – резервуар-усереднювач; 2 – насоси; 3 – бак сталого напору; 4 – камера реакції;  
 5 – відстійник; 6 – фільтр доочищення; 7 – відстійник промивних вод; 8 – резервуар очищеної води; 9 – блок обробки осаду ; 10 – блок приготування суспензії бруситу;  
 11 – дозатор суспензії бруситу

#### Методика проведення експерименту

Експериментальні дослідження обробки води бруситом з метою підвищення рН здійснювалися у дві серії. Серія 1 була проведена з використанням меленого бруситу (розмір фракції до 300 мкм) в технології перемішування водного розчину з бруситом. Серія 2 проводилася на зернистому бруситі різних фракцій – від 1 до 10 мм.

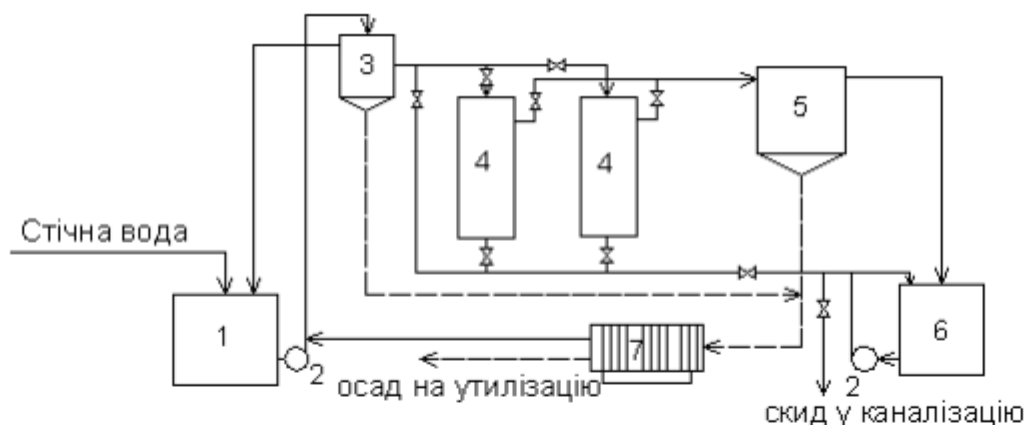


Рис.2. Принципова схема нейтралізації та очистки кислих стічних вод фільтруванням через зернистий брусит

1 – резервуар-усереднювач; 2 – насоси; 3 – бак сталого напору; 4 – фільтри з бруситовим завантаженням; 5 – відстійник промивної води; 6 – резервуар очищеної води; 7 – блок обробки осаду

В процесі випробувань перевірявся ефект підвищення рН дистильованої води ( $pH_0 = 6...6,5$ ), або нейтралізації розчинів сильних кислот ( $pH_0 = 1...5$ ). Кожна серія дослідів включала в себе два етапи: на етапі А вивчався процес підлогування дистильованої води; на етапі Б досліджувалась нейтралізація модельних розчинів сірчаної та соляної кислот.

### Серія 1

Випробування проводилися при сухому дозуванні реагенту меленого бруситу введенням його наважок у  $1 \text{ дм}^3$  водного середовища з перемішуванням суміші. Експериментальна установка (рис.3) являла собою скляну конічну ємкість об'ємом близько  $2 \text{ дм}^3$ , в нижню частину якої подавалося повітря для перемішування, що забезпечувало постійну концентрацію реагенту в об'ємі проби.

Відбір проб на аналіз проводився через визначені часові інтервали. Відібрані проби фільтрувалися через паперові фільтри, після чого визначалися рН та загальна жорсткість води за стандартними методиками Технічного комітету ECS/TK 230 «Аналіз води» [14].

### Серія 2

Для проведення випробувань зернистого бруситу використовувались фракції від 1 до 10 мм. Брусит в кількості 10 г контактував з 50 мл води з різною величиною рН продовж певного часу при механічному перемішуванні (рис.4). По закінченні часу контакту проба відділялась від бруситу, фільтрувалась через паперовий фільтр, після чого у воді визначалися рН та загальна жорсткість.

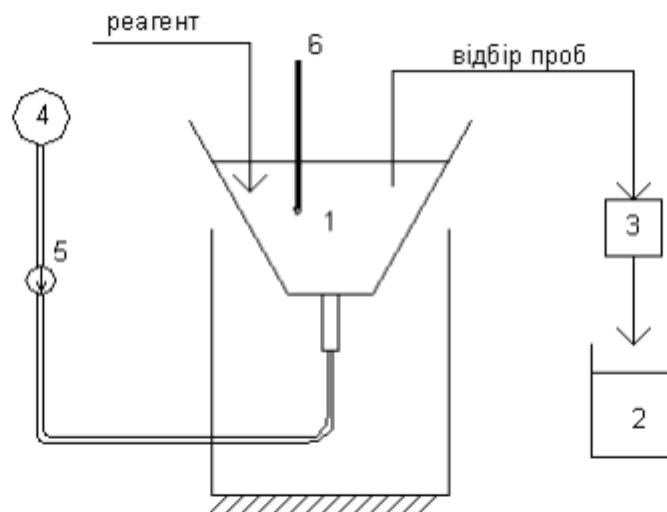


Рис.3. Схема експериментальної установки для серії 1:  
 1 – скляна конічна ємкість; 2 – збірна ємкість; 3 – паперовий фільтр; 4 – компресор; 5 – реометр; 6 - термометр

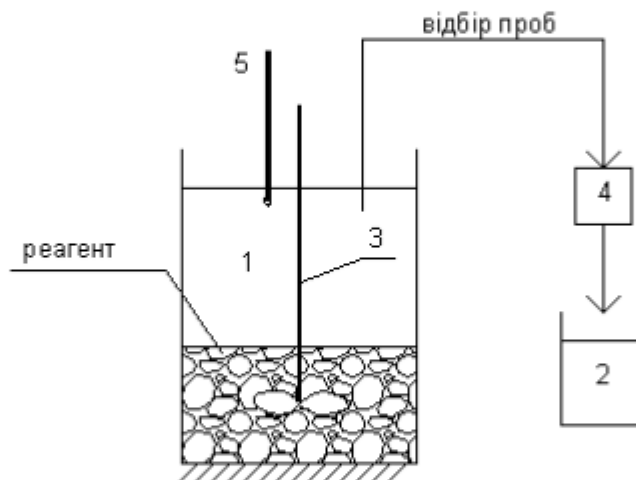


Рис.4. Схема експериментальної установки для серії 2:  
 1 – скляна ємкість; 2 – збірна ємкість; 3 – механічна мішалка;  
 4 – паперовий фільтр; 5 – термометр

### Результати експериментів та їх оцінка

Результати експериментальних досліджень по етапах наведено на рис.5-12.

#### Серія 1.А. Мелений брусит, дистильована вода

На рис.5 наведено результати випробувань серії 1 етапу А – обробка дистильованої води меленим бруситом при концентраціях реагенту 10; 30; 50; 70; 120 мг/л.

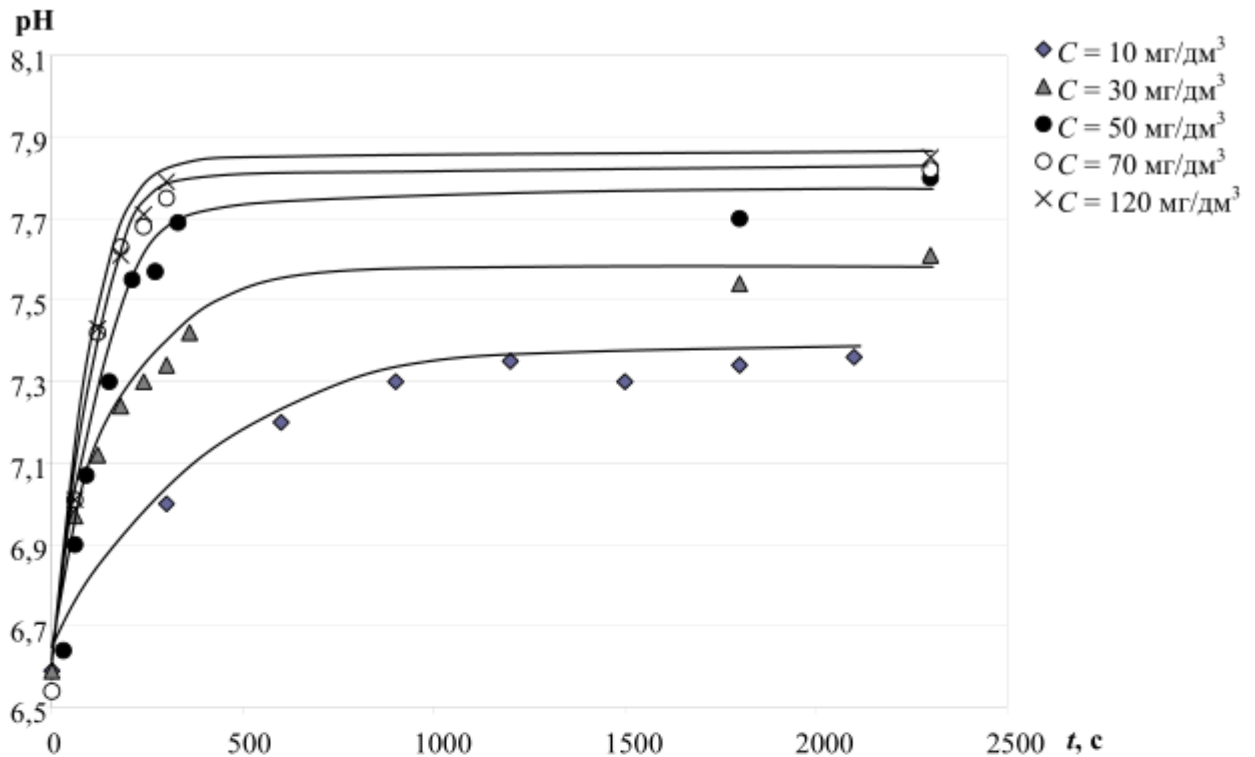


Рис.5. Залежність рН проби від часу контакту з реагентом:  
серія 1.А – дистильована вода

Аналіз даних показує, що інтенсивне підлугування спостерігається в перші 3...5 хвилин, після чого значення рН стабілізується на рівні 7,35...7,85 в залежності від концентрації бруситу. Появу солей жорсткості в пробах води не виявлено.

Окремо проаналізовано залежність рН оброблених розчинів від запропонованого автором «параметру інтенсивності впливу»:  $k = C \cdot t$  [с·г/дм<sup>3</sup>], де  $C$  – концентрація бруситу, г/дм<sup>3</sup>;  $t$  – час контакту, с.

Названий параметр характеризує комплексність впливу на інтенсивність процесу як концентраційної складової ( $C$ , г/дм<sup>3</sup>), так і тривалості ( $t$ , с) взаємодії реактивної складової бруситу –  $Mg(OH)_2$  з хімічними компонентами середовища (катіонами і аніонами самої води і штучно впроваджених в неї речовин).

Залежність величини рН обробленої води від  $k$  наведено на рис.6. Використання цього параметру ( $k$ ) дозволяє змінювати умови проведення процесу підлугування (концентрацію реагенту і відповідний час контакту), таким чином, щоб отримувати заданий рівень рН. Наприклад, при необхідності отримувати воду з рН = 7,5, можна застосовувати обробку меленим бруситом концентрацією 0,1 г/дм<sup>3</sup> при часі контакту  $t = k/C = 12 / 0,1 = 120$  с.

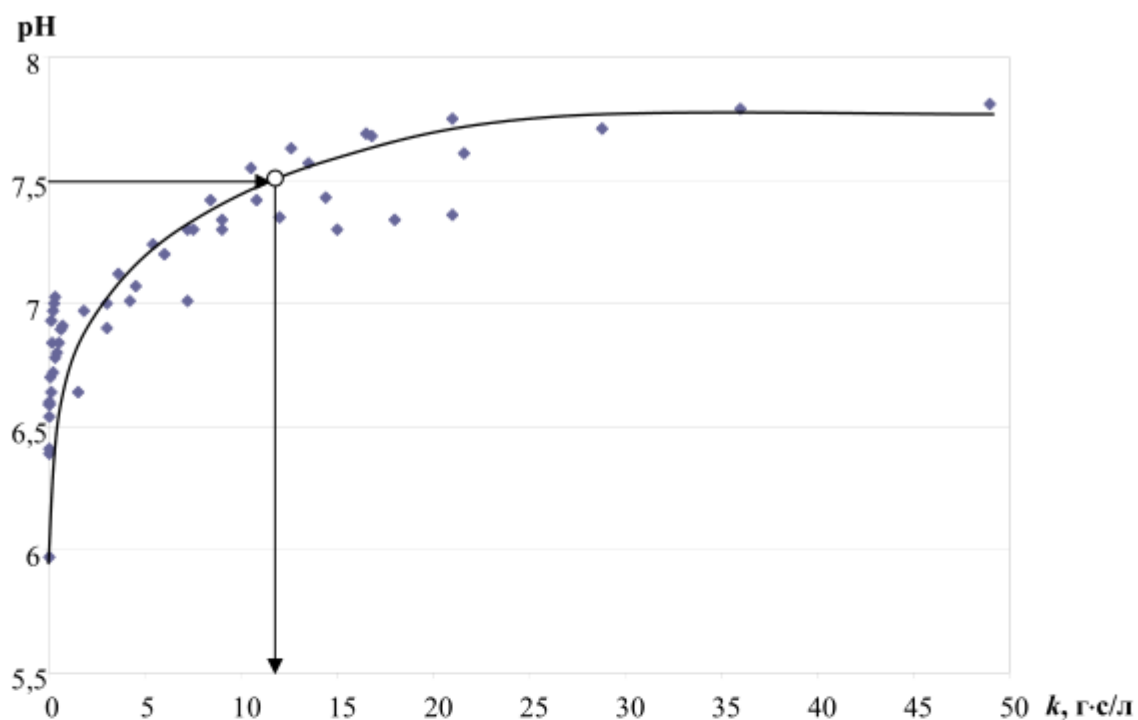


Рис.6. Залежність рН проби від параметру інтенсивності впливу:  
серія 1.А – дистильована вода

### Серія 1.Б. Мелений брусит, розчини сильних кислот

На рис.7,8 наведено результати випробувань серії 1 етапу Б – нейтралізація розчинів соляної (рис.7) та сірчаної (рис.8) кислот меленим бруситом при концентраціях реагенту 50; 100; 500; 1000 мг/л.

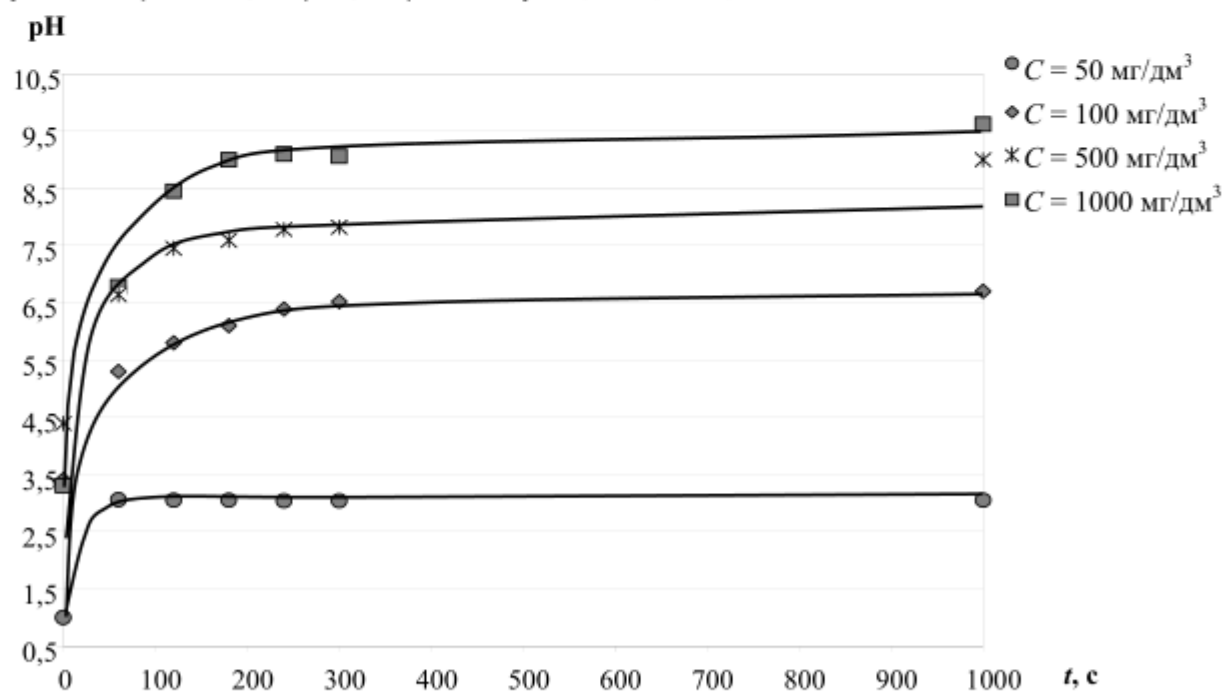


Рис.7. Залежність рН проби від часу контакту з реагентом:  
серія 1.Б – модельний розчин соляної кислоти

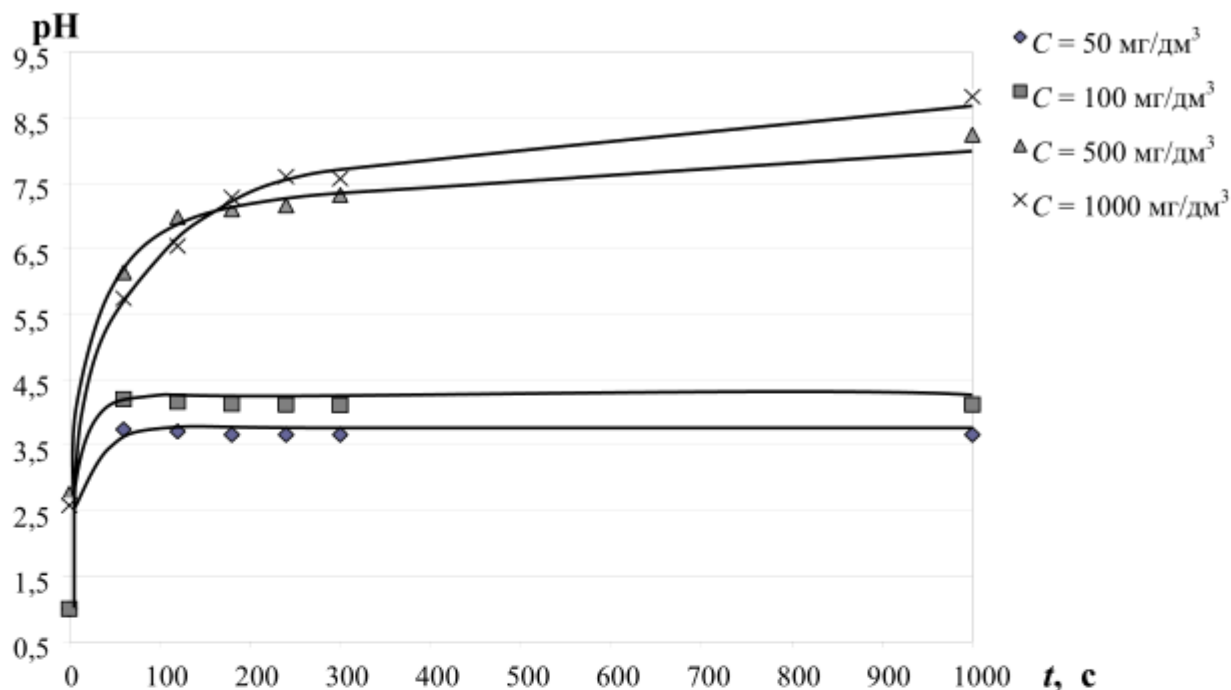


Рис.8. Залежність рН проби від часу контакту з реагентом: серія 1.Б – модельний розчин сірчаної кислоти

Із графіків видно, що процес закінчується за 1,5 та 2,5 хвилини, відповідно, для соляної та сірчаної кислот. Слід відзначити, що результати експериментів не підтвердили інформацію, наведену в [10], щодо більшої витрати реагенту на нейтралізацію розчинів соляної кислоти. Отримані нами дані свідчать протилежне. На рис.9 представлено залежності рН проб розчинів кислот після нейтралізації їх бруситом в залежності від параметру інтенсивності впливу. Порівняння графіків для сірчаної та соляної кислот також показують більшу ефективність дії бруситу на розчини саме соляної кислоти.

Контроль за жорсткістю показав незначне зростання іона магнію в воді (на 1,5 мг-екв/л) лише при обробці розчину сірчаної кислоти, що говорить про ймовірно помітний вплив аніонного складу розчину на процес підлогування.

### Серія 2. Зернистий брусит

На початковому етапі було здійснено вибір ефективної фракції бруситу, що проілюстровано даними рис.10. Для подальших дослідів обрано фракцію 2 мм.

На рис.11 наведено результати випробувань серії 2: **етапу А** – обробка зернистим бруситом дистильованої води; **етапу Б** – обробка зернистим бруситом розчинів соляної кислоти.



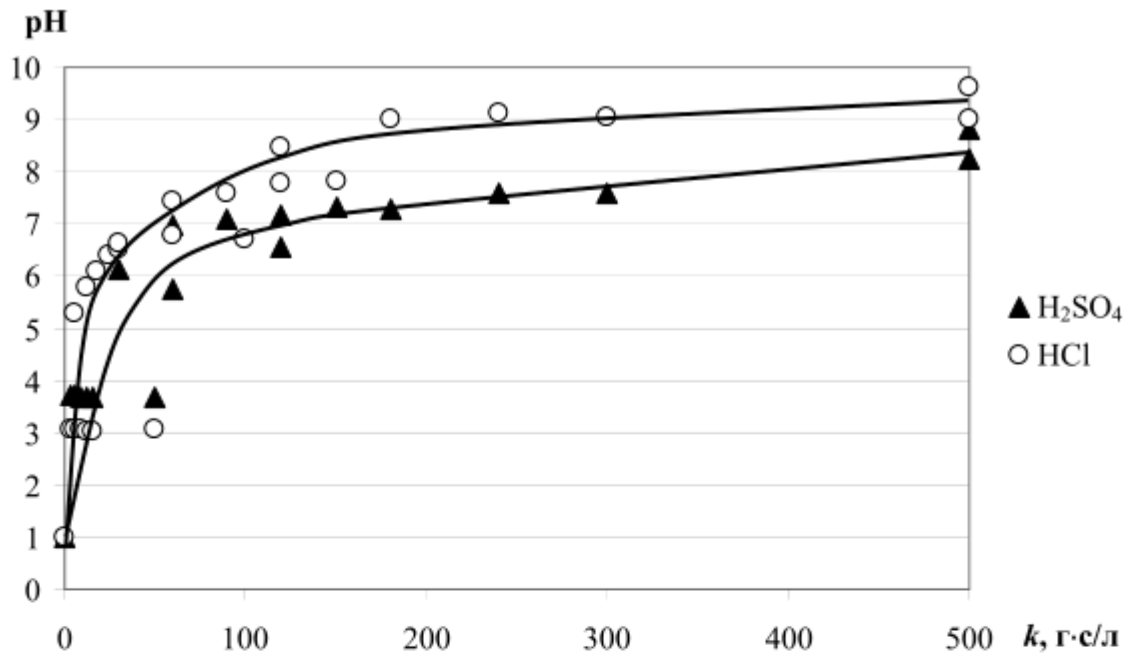


Рис.9. Залежність рН проби від параметру інтенсивності впливу:  
серія 1.Б – розчини сильних кислот

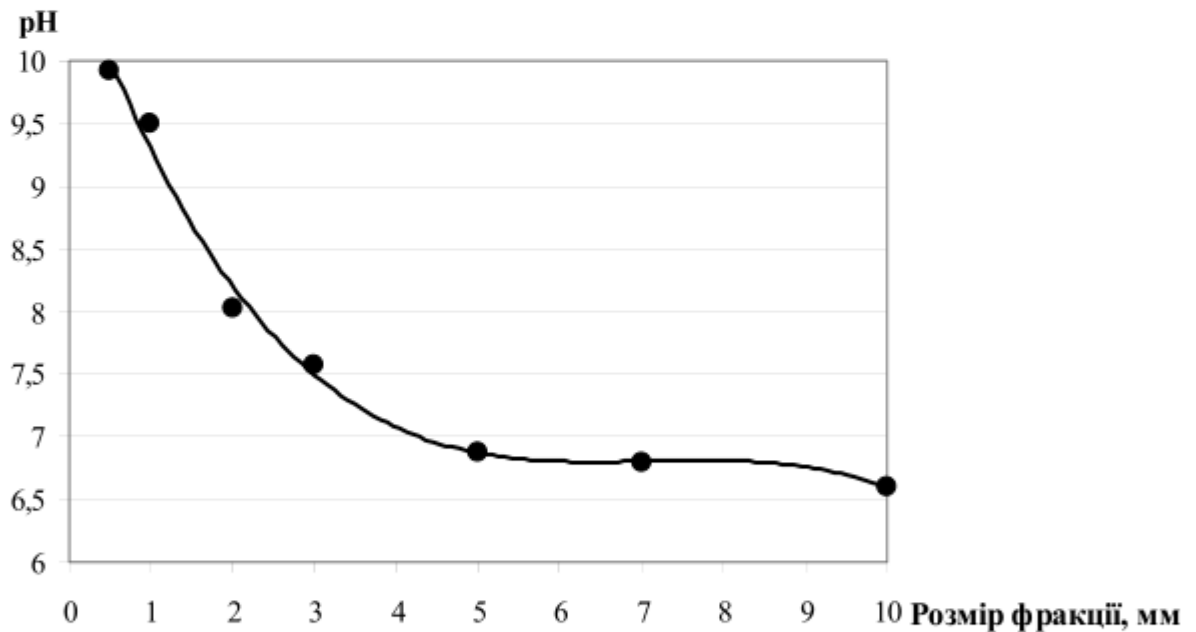


Рис.10. Залежність рН води від величини фракції бруситу,  
тривалість обробки 180 с

Отримані дані показують, що швидкості процесу на початковій стадії залежать від вихідного рН проби, і лише при контакті з бруситом понад 4 хв. стають майже рівними. Ще однією причиною різного характеру перебігу процесу може бути перехід у розчин домішок, наявних в складі бруситу, та їх вплив на розчинення  $Mg(OH)_2$ .

Як і в серії 1 даних досліджень, в обробленій воді не виявлено помітного зростання жорсткості: відзначена поява кальцію в концентраціях, що не перевищували 1,5 мг-екв/л.

Проаналізовано також залежність рН оброблених розчинів від рН вихідного розчину ( $pH_0$ ) при тривалості обробки 30; 60; 180; 300 с. Відповідний графік представлено на рис.11.

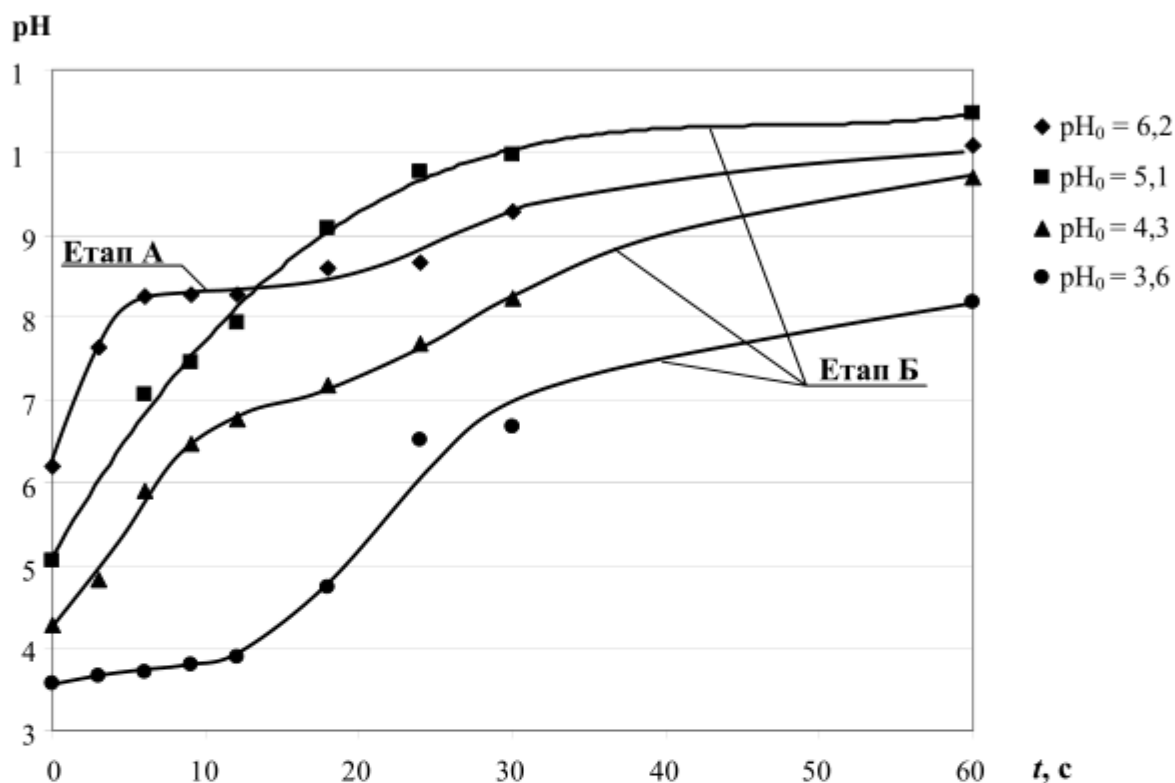


Рис.11. Залежність рН проби від часу контакту з реагентом при рН вихідного розчину: 3,6; 4,3; 5,1; 6,2

Такий графік, на думку авторів, дозволить добирати необхідні умови обробки розчинів, в залежності від вихідного значення та бажаного рівня рН води. Наприклад (див. рис.12), при необхідності підвищення рН з 4,6 до 7,5 час контакту розчину з бруситом має бути рівним 138 с.

### Висновки

1. Використання бруситу може бути ефективним при підлогуванні та коригуванні рН, особливо, якщо необхідно підвищити рН лише на 1...3 одиниці.
2. Фільтри з завантаженням бруситом мають помітно довгий період роботи, оскільки магній характеризується низькою розчинністю у воді.
3. Ступінь збільшення рН може регулюватися часом контакту бруситу з водним середовищем.

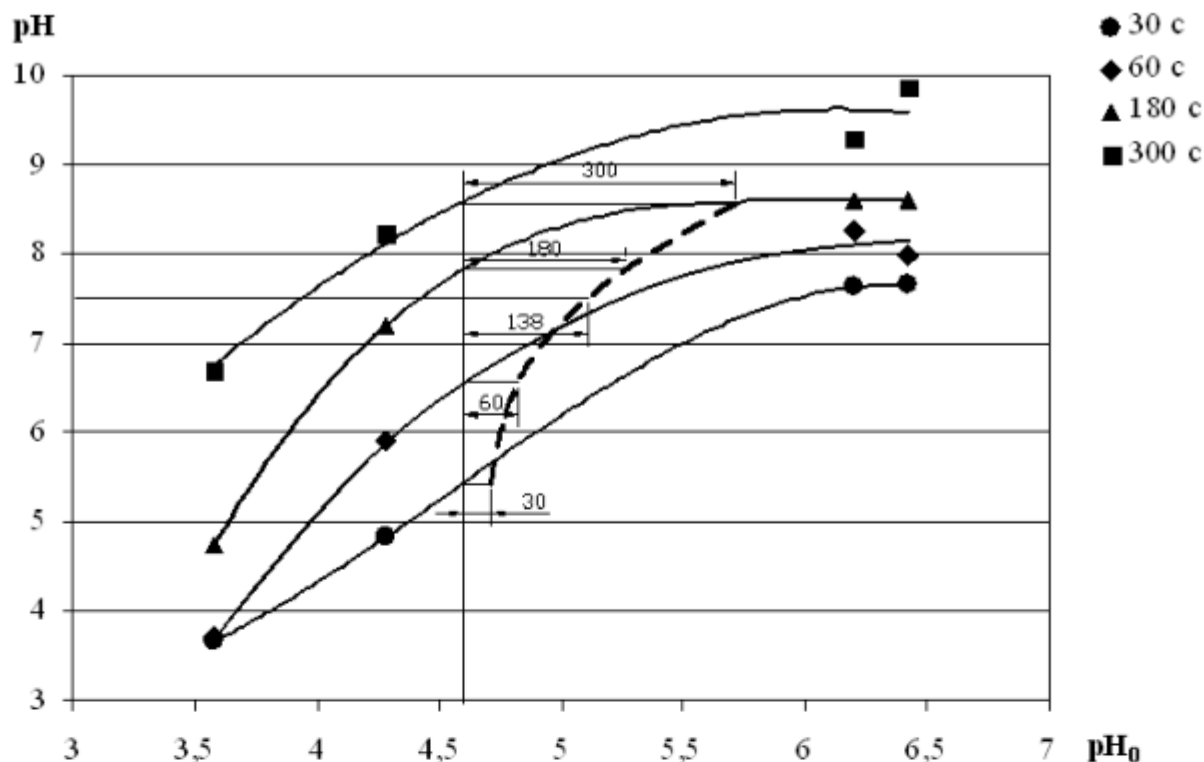


Рис.12. Залежність рН проби від рН<sub>0</sub> та часу контакту з бруситом

4. Для уточнення можливості та ефективності використання зернистого брусита як завантаження фільтрів у процесах підлогування природних вод, параметрів і умов нейтралізації стічних вод необхідно проведення напіввиробничих випробувань.

### Список літератури

1. *Теоретические основы и технология кондиционирования воды* / Кульский Л.А. – 3-е изд. – К.: Наук. думка, 1980. – 564 с.
2. *А.К. Запольський та ін. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод: Підручник.* – К.: Лібра, 2000. – 552 с.
3. *Брик М.Т. Питна вода і мембранні технології (огляд).* – Наукові записки. Т.18. Хімічні науки. – 2000. – С.4-24.
4. *Ивлева Г.А., Смирнов В.А., Гусева Л.А. Глубокая очистка природных вод из источников повышенной загрязненности.* – М.: ВНИИВОДГЕО, 1993. – С.21-21.
5. *Исследование технологии обратноосмотического опреснения морских вод с умягчением пермиата* / К.М. Абдуллаев, М.М. Агамалиев, В.Е. Космодинамский, О.О. Дадашева // Энергосбережение и водоподготовка, 2005. – №4. – С.26-29.
6. *Юрков Є.В., Юрков О.Д. Застосування недопаленого доломіту для коригування рН води / Проблеми водопостачання, водовідведення і гідравліки.* – Вип.18. – К.: КНУБА, 2012. – С.30-40.

7. *Алексеев Л.С., Гладков В.А.* Улучшение качества м'яких вод. – М.: Стройиздат, 1994. – 150 с.
8. *Акт* испытаний магнийсодержащего сорбента на основе бруситовой руды Аквамаг, утвержденный президентом ИГОО «Экологическая группа» от 29.03.2007.
9. *Марк Стенд.* Гидроокись магния – безвредная альтернатива каустической соде (NaOH) / Premier Chemical 495 Emma Street Bettsville, OH 44815.
10. *Experimental study of brucite dissolution and precipitation in aqueous solutions. Surface speciation and chemical affinity control.* Pokrovsky Oleg S., Schott Jacques / *Géochimie: Transferts et Mécanismes.* – CNRS (UMR 5563)-OMP-Université Paul-Sabatier, 2004. – 68, №1. – С.31-45.
11. *Бочкарев Г.Р., Пушкарева Г.И.* О новом природном сорбенте для извлечения металлов из водных сред. / Труды СО РАН «Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых». – № 4, 1998.
12. *Бобылева С.А.* Сорбционная очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов с применением брусита: Автореф. дис...канд. техн. наук. – Новосибирск: НГАСУ, 2005. – 24 с.
13. *Перспективы* использования брусита в технолгиях очистки воды. Белевцев А.Н. и др. / Энергосбережение и водоподготовка, 2008. – №1. – С.34-44.
14. *Фомин Г.С.* Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам: Энциклопедический справочник. – М.: Издательство НПО Альтернатива, 1995. – 618 с.

УДК 628: 16. 087

Н.В.БІЛИЦЬКА канд. техн. наук  
О.Г.ГЕТЬМАН канд. техн. наук  
НТУУ «Київський політехнічний інститут»  
О.Ю. ПАЛАМАРЧУК студентка  
В.Ф.МАЛЬКО канд. техн. наук  
Київський національний університет будівництва та архітектури

### **ЕЛЕКТРОКОАГУЛЯЦІЙНА УСТАНОВКА З ТОРЦЕВИМ ЕЛЕКТРОДНИМ БЛОКОМ**

*Представлено інформацію про деякі особливості конструювання експериментальної установки для дослідження процесу електрокоагуляційного знебарвлення модельного водного розчину.*