

## ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРІЯ

DOI: 10.31319/2519-2884.48.2026.16

УДК 661.846

**Кравченко О.В.**, д.т.н., професор ORCID: 0009-0006-8833-3441,  
e-mail: alkrauchenko59@gmail.com

**Анацький М.С.**, здобувач третього (доктор філософії) рівня вищої освіти  
Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

**Kravchenko Oleksandr**, Doctor of engineering sciences, Professor of the Department of Chemical and Biological Technologies

**Anatskyi Maksym**, Postgraduate student  
Dniprovsky State Technical University, Kamianske

### ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ОСАДЖЕННЯ МАГНІЙ ГІДРОКСИДУ З БІШОФІТУ АМОНІАКОМ НА ВИХІД МАГНІЙ ОКСИДУ

*У статті проаналізовано два основні способи промислового виробництва магній оксиду — прожарюванням магнезиту та осадженням з магнійвмісних розсолів, зокрема з бішофіту. Розглянуто переваги способу отримання магній оксиду з бішофіту та речовини, які використовуються в даній технології. Відмічено перспективи використання амоніаку в якості осаджувального агента, його переваги та недоліки. Досліджено вплив таких технологічних параметрів, як концентрація магній хлориду у вихідному розчині, тривалість і температура осадження, на вихід цільового продукту. Визначені напрямки подальших досліджень.*

**Ключові слова:** магній оксид; магнезит; бішофіт; осадження; амоніак.

*This paper presents an analysis of two main ways of industrial production of magnesium oxide — “dry” method from magnesite mineral and “wet” method from magnesium chloride brines. The advantages of the technology of magnesium oxide production from bishofite and substances in this technology were considered. Some prospects of use of ammonia as a precipitation agent were determined, its advantages and disadvantages were explored. The impact to the yield of the target product of such technological parameters as magnesium chloride concentration in the start solution, precipitation time and temperature were explored., The ways for further reseaches were determined.*

**Keywords:** magnesium oxide; magnesite; bishofite; precipitation; ammonia.

#### Постановка проблеми

Магній оксид (magnesium oxide, магнезія, MgO) — порошок білого кольору, гігроскопічний, має пухку структуру. Характеризується високою температурою плавлення, хімічною стійкістю, високою теплопровідністю та низькою електропровідністю. Завдяки цим характеристикам, MgO широко застосовують як вогнетривкий матеріал у будівництві. Додавання магній оксиду до сумішей для виробництва будівельних панелей надає їм вогнестійкості, підвищеної міцності, вологостійкості, стійкості до пошкодження пліснявою і комахами. На ці потреби використовується більше половини магній оксиду, що виробляється у світі.

У значних обсягах MgO застосовують для очищення нафтопродуктів. У сільському господарстві оксид магнію використовують як добавку до мінеральних добрив з метою запобігання їх злежування та в якості мікродобрива [1]. У тваринництві оксид магнію додають у корми для профілактики магнієвого дефіциту.

Традиційно використовують MgO як наповнювач для гумових сумішей і як активатор речовин, які в процесі вулканізації є прискорювачами. Також магнезія використовується в целюлозно-паперовій промисловості.

З розвитком сучасних технологій сфери застосування магній оксиду розширюються і для нових напрямків використання зростають вимоги до якості хімічного продукту, зокрема — щодо наявності домішок.

Високочистий оксид магнію є необхідним для потреб енергетики, виробництва сучасної кераміки, у тому числі прозорі, електротехнічних, оптичних і люмінофорних матеріалів, монокристалів та еталонів, термостійких пластмас, для створення матриць-колекторів та інструментального аналізу [2]. В електронній промисловості MgO застосовують як м'який абразив та у складі захисних покриттів для рідкокристалічних моніторів.

MgO використовують як харчову добавку E-530, для сприяння і прискорення гідрогенізації рослинних жирів у виробництві маргарину, спреда, вершкового масла.

Великі обсяги магній оксиду високого ступеню чистоти потребує фармацевтична промисловість.

Для промислового виробництва магній оксиду найбільшу цінність мають мінерали брусит ( $Mg(OH)_2$ ), магнезит (основна речовина  $MgCO_3$ ), бішофіт (основна речовина  $MgCl_2$ ), карналіт ( $MgCl \cdot 2KCl \cdot 6H_2O$ ). За наявними мінеральними ресурсами в Україні доступною сировиною для виробництва магній оксиду є магнезит і бішофіт.

Великі поклади бішофіту розвідані в Німеччині, Нідерландах, Китаї, Казахстані, на Африканському континенті, а також в Україні [3]. В Україні поклади бішофіту знаходяться в Чернігівській і Полтавській областях, їх прогнозовані обсяги складають близько 10 мільярдів тон [4].

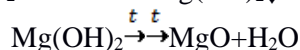
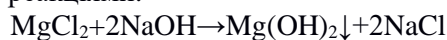
Виробництво магній оксиду з розсолів магній хлориду, зокрема з бішофіту, є актуальним для України. Перспективність такого процесу обумовлена великими запасами бішофіту в Україні і можливістю отримати продукцію високого ступеню чистоти.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Найбільш розповсюдженим способом промислового виробництва магній оксиду є так званий «сухий» спосіб — високотемпературна декарбонізація магнезиту шляхом прожарювання в спеціальних печах [5]. Цей спосіб є найдешевшим, але при його застосуванні домішки, які є в сировині, в значній мірі переходять у продукт, що ускладнює отримання MgO високого ступеню чистоти. Гідрометалургійна переробка магнезиту шляхом вилуджування з нього кислотою магнію з подальшим осадженням є відносно дороговартісним процесом і має наслідком утворення великої кількості відходів.

«Мокрий» спосіб виробництва магній оксиду передбачає осадження магній гідроксиду шляхом взаємодії магній хлориду, що міститься у бішофіті, з основами та солями: NaOH,  $Ca(OH)_2$ ,  $Na_2CO_3$ ,  $NH_3$ . Після фільтрації і промивання осаду він піддається прожарюванню з отриманням MgO.

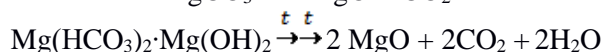
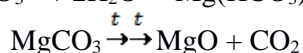
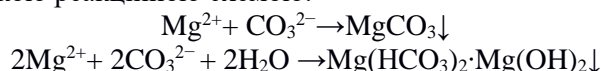
На сьогодні найбільш поширеним є процес з використанням в якості осаджувача NaOH з подальшою кальцинацією за реакціями:



Основними недоліками цього процесу є утворення великої кількості стічних вод, мінералізованих натрій хлоридом, та наявність NaCl у продукті.

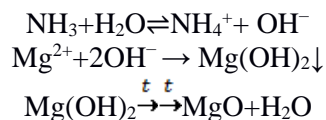
Перспективною альтернативою лугам є амоніак, застосування якого дозволяє отримати продукцію з найменшою кількістю домішок і нижчими обсягами стічних вод.

Проміжний карбонатний шлях з утворенням магній карбонату чи магній гідроксокарбонату здійснюється за такою реакційною схемою:



Недоліки цього процесу такі ж, як і процесу з використанням NaOH. Крім того, кінцевий продукт має гірші фізичні властивості.

Осадження  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  амоніаком з подальшою кальцинацією відбувається за наступними реакціями:



Перевагою такого процесу є відсутність натрію у дисперсії, яка утворюється при осажденні, недоліком — менший вихід магній оксиду.

Осаджувачами, які традиційно використовуються для отримання магній оксиду з природних розсолів, є натрію гідроксид, кальцинована сода, аміачна вода (або чистий амоніак) і доломітове вапно ( $\text{CaO} \cdot \text{MgO}$ ).

Вапно є найдешевшою сировиною. Проте  $\text{MgO}$ , отриманий у такий спосіб, буде містити значну кількість кальцію. Для отримання якісного кінцевого продукту кращим осаджувачем є  $\text{NaOH}$ , оскільки при осажденні не відбувається потрапляння в розчин сполук кальцію. В результаті реакції утворюється желатиноподібний осад високої чистоти. Крім того, розчинність  $\text{NaOH}$  (1000 г/л при 25 °С) у воді значно вище розчинності  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (1,73 г/л при 25 °С), що обумовлює більшу ефективність натрій гідроксиду. В разі використання амоніаку як альтернативи  $\text{NaOH}$  необхідно приділяти більше уваги безпечності процесу [6].

У роботі [7] проаналізована гетерофазна багатокомпонентна система  $\text{MgO} - \text{CaO} - \text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ , якою вичерпуються усі можливі варіанти отримання  $\text{MgO}$  з природних розсолів. Дослідники показали, що з цієї системи можуть бути отримані тільки два продукти для подальшого перетворення в  $\text{MgO}$ : магній гідроксид і магній гідрокарбонат. Перший варіант має такі беззаперечні переваги, як більший вихід  $\text{MgO}$  і меншу пористість продукту після прожарювання.

$\text{MgO}$ , отриманий з магній гідроксиду, має вищу хімічну активність у порівнянні з  $\text{MgO}$ , отриманим з гідрокарбонату [8]. Однак осад  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  зазвичай містить сульфати, які практично не відмиваються [2, 9].

Отримання магній оксиду з розсолу бішофіту осажденням натрій гідроксидом з подальшим прожарюванням є перспективним напрямком з огляду на енергоефективність [10].

Дослідження процесу отримання  $\text{MgO}$  з використанням в якості осаджувачів натрій гідроксиду і натрій карбонату проводились в ДДТУ. Відповідно до результатів цих досліджень, оптимальними умовами для осаждення  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  розчином  $\text{NaOH}$  є  $\text{pH} > 10$  і температура понад 50 °С. У випадку використання в якості осаджувального агента  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , найкращі результати спостерігалися у слабколужному середовищі при  $\text{pH}$  (7—9) та при підвищеній температурі. Морфологічний аналіз осадів засвідчив, що зміна параметрів дозволяє керувати розміром і структурою кристалів [11].

У роботі [5] описане дослідження отримання магній оксиду з модельних розчинів  $\text{MgCl}_2$  та з бішофіту Затуринського родовища (Полтавська область) з використанням газоподібного амоніаку або його водного розчину, з подальшою фільтрацією осаду, його промиванням і прожарюванням при температурі 900—1200 °С. Особливістю процесу є його проведення в присутності  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Встановлено, що додавання  $\text{NH}_4\text{Cl}$  до осаджувального агента призводило до збільшення швидкості кристалізації  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  і фільтрації суспензії.

У роботі [12] описано двостадійний процес отримання магній гідроксиду з 50 %-го водного розчину  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . На початковому етапі осаждення  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  здійснювали 25 % розчином  $\text{NH}_4\text{OH}$ , а на завершальному — 8 % розчином  $\text{NaOH}$ . Встановлено, що основним фактором, який визначає форму частинок, є температура реакційного середовища. Кристали  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , що синтезовані при температурі 2 °С, мали голковидну форму. Довжина голок становила 100 нм, діаметр — 10 нм. При температурі реакційного середовища 20 °С одержували ламелярні (пластинчасті) кристали діаметром 50 нм і товщиною 10 нм. Стрижневидні частинки довжиною 4000 нм і діаметром 95 нм утворювалися при температурі 10 °С.

Автори роботи [13] виявили, що частинки  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , одержані в результаті осаждення із суміші водних розчинів природного бішофіту і  $\text{NaOH}$  при температурі реакційного середовища 20 °С ( $\text{pH} = 10,5 - 11,0$ ), також мають голкоподібну форму. Довжина голок 100—200 нм, діаметр 5—13 нм. При термічній дегідратації  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  в температурному інтервалі 325—470 °С

голкоподібні частинки легко трансформуються в пластинчасті кристали. Це засвідчує, що голкоподібні частинки, ймовірно, є трубками, які сформувалися шляхом скручування пластинчастих кристалів.

Складна форма і субмікронний розмір частинок  $Mg(OH)_2$ , отриманих з хлормagneсієвих концентрованих розчинів, є причиною значної проблеми отримання магній оксиду — низької швидкості фільтрування [14].

З метою підвищення ступеня осадження та ущільнення суспензії магній гідроксиду в роботі [15] пропонувалося додавати флокулянт. Суспензія у цьому випадку зневоднювалася у вакуумному фільтрі з утворенням фільтраційної кірки, що містила приблизно 54 % твердої речовини.

У роботі [16] досліджувалися умови прожарювання  $Mg(OH)_2$ , отриманого з розсолу, при температурі 500—700 °C протягом 2—12 годин. Показано, що нижчі температури і менший час прожарювання сприяють отриманню магній оксиду з вищою реакційною здатністю.

Осадження магній гідроксиду з водних розчинів природного бішофіту газоподібним або водним розчином амоніаку з подальшою кальцинацією осаду є перспективним і економічним способом промислового отримання магній оксиду високої якості. Проте процес осадження амоніаком суттєво відрізняється від осадження натрій гідроксидом і поки що лишається маловивченим.

#### Формулювання мети дослідження

Основним недоліком амоніаку при використанні його в якості осаджувача магній гідроксиду є те, що при протіканні хімічної реакції виділяється амоній хлорид, який з водним амоніаком діє як буферна суміш. Через це при стехіометричній кількості амоніаку не досягається оптимального для високого ступеня осадження значення рН.

Отже, рівновага в гетерогенній системі  $Mg(OH)_2 - Mg^{2+} - NH_4^+ - OH^- - H_2O$  залежить як від термодинамічних, так і кінетичних факторів, а вихід магній оксиду — від параметрів, при яких відбувається осадження.

Метою даної роботи є дослідження впливу основних параметрів процесу утворення магній гідроксиду при взаємодії водного розчину амоніаку з розчином бішофіту Затуринського родовища, а також подальших процесів фільтрації осаду і його прожарювання на вихід магній оксиду. Досліджено вплив наступних параметрів:

- концентрації магній хлориду у вихідному розчині, який виготовлявся шляхом розбавлення бішофіту дистильованою водою;
- температури процесу осадження;
- тривалості осадження (швидкості додавання осаджувального агенту).

#### Виклад основного матеріалу

Для проведення досліджень використовували зразок бішофіту Затуринського родовища, який містив 24,5 % магній хлориду і мав густину 1,256 г/см<sup>3</sup>.

Для осадження використовували водний розчин амоніаку концентрацією 25 % і густиною 0,91 г/см<sup>3</sup>.

Бішофіт попередньо очищали шляхом фільтрування через паперовий фільтр «біла стрічка» на воронці Бюхнера під вакуумом.

Для дослідів брали 1500 см<sup>3</sup> дистильованої води та додавали очищений бішофіт, розбавляючи його до досягнення співвідношення бішофіт:вода 1:100; 1:75; 1:50; 1:25 і 1:5.

Колбу з розчином встановлювали на водяну баню і нагрівали до температури 50—80 °C. Осадження проводили додаванням водного розчину амоніаку з ділильної воронки. Кількість розчину амоніаку, яку брали для кожного дослідів, дорівнювала 0,98 частин на 1 частину бішофіту. Протягом всього часу осадження розчин перемішувався механічною мішалкою. Тривалість осадження становила 2—3 години. Змінними параметрами були вміст  $MgCl_2$  в розчині, температура та тривалість осадження.

По завершенню осадження утворену суспензію невідкладно фільтрували через паперовий фільтр «біла стрічка» на воронці Бюхнера під вакуумом, осад промивали гарячою (70 °C) дистильованою водою.

Осад висушували у сушильній шафі при температурі 105 °C упродовж 90 хвилин. Висушений осад подрібнювали та прожарювали у муфельній печі, охолоджували в ексікаторі та зважували.

На кожній з перелічених стадій відбуваються втрати цільової речовини:

- розчинення магнію гідроксиду у розчині, що містить  $\text{NH}_4\text{OH}$ — $\text{NH}_4\text{Cl}$ ;
  - втрата частини тонкодисперсного матеріалу, який знаходиться в гелеподібному стані, під час фільтрування;
  - втрати під час сушіння та прожарювання у вигляді аерозолі із твердих частинок.
- Результати досліджень наведені в табл. 1 і на рис. 1—2.

Таблиця 1. Результати досліджень

Реакційна суміш			Об'єм розчину амоніаку, $\text{см}^3$	Отримано $\text{MgO}$ , г	Температура осадження, $^{\circ}\text{C}$	Час осадження, год	Вихід $\text{MgO}$ , %
Об'єм води, $\text{см}^3$	Об'єм бішофіту, $\text{см}^3$	Вміст $\text{MgCl}_2$ , $\text{г/дм}^3$					
1500	15	3,05	14,73	0,39	80	3	19,96
1500	20	4,05	19,64	1,2	80	3	46,06
1500	30	6,03	29,46	1,27	80	2	32,50
1500	60	11,84	58,92	2,12	80	2	27,12
1500	15	3,05	14,73	0,88	80	2	45,03
1500	20	4,05	19,64	1,23	80	2	47,21
1500	30	6,03	29,46	1,92	80	2	49,13
1500	60	11,84	58,92	3,87	80	2	49,51
1300	52	11,84	51,06	3,46	80	2	51,08
1500	300	51,29	294,6	24,52	80	2	62,74
1500	60	11,84	58,92	3,75	50	2	47,98
1500	300	51,29	294,6	30,9	50	3	79,07
800	160	51,29	157,12	11,44	50	2	54,89

Загальний об'єм розчину, який використовувався для проведення осадження, змінювався від 960 до 1800  $\text{см}^3$ ; статистично значимого впливу на вихід  $\text{MgO}$  цей параметр не мав — коефіцієнт парної кореляції між цими параметрами склав 0,21.

Для результатів, наведених у табл. 1, спостерігається досить велика дисперсія. Це легко пояснюється значною кількістю чинників, які визначають вихід продуктів реакції. Тим не менш, між вмістом  $\text{MgCl}_2$  у вихідному розчині та виходом  $\text{MgO}$  існує сильний позитивний зв'язок, коефіцієнт парної кореляції  $r$  дорівнює 0,72. Це означає, що в межах концентрацій  $\text{MgCl}_2$  у вихідному розчині від 3 до 51  $\text{г/дм}^3$  збільшення вмісту магній хлориду призводить до збільшення виходу  $\text{MgO}$ .

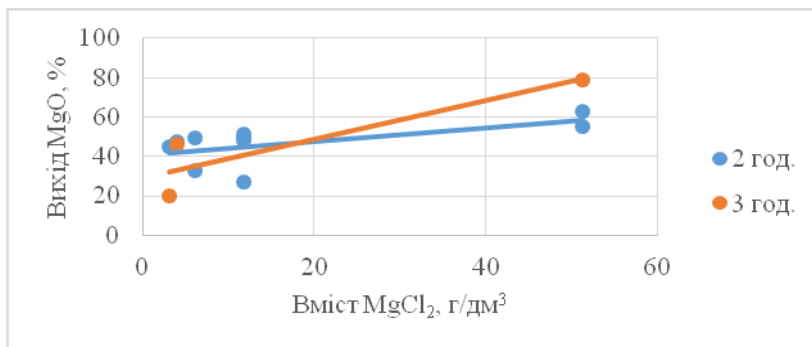


Рис. 1. Залежність виходу магній оксиду від концентрації магній хлориду у вихідному розчині та тривалості процесу осадження

Таким чином, при використанні водного розчину амоніаку збільшення тривалості осадження з 2 до 3 годин дозволяє суттєво збільшити загальний вихід магній оксиду з розчину бішофіту.

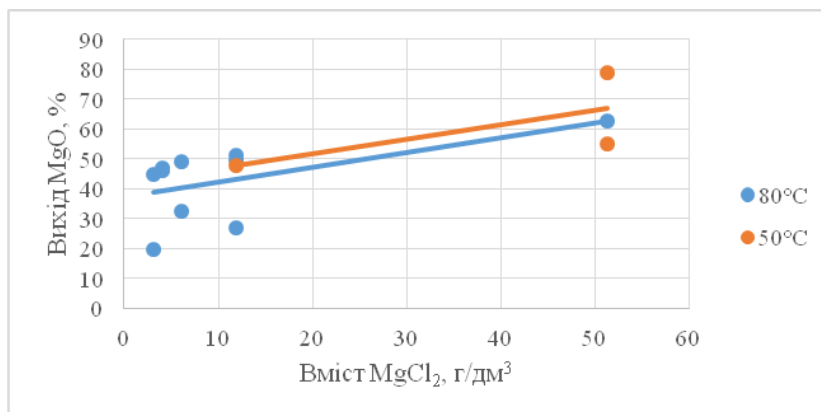


Рис. 2. Залежності виходу оксиду магнію від вмісту магнію хлориду у вихідному розчині та температури осадження

Відповідно до рис. 2, збільшення температури осадження з 50 до 80 °С, не має суттєвого впливу на вихід оксиду магнію.

#### Висновки

1. В інтервалі концентрацій MgCl<sub>2</sub> у вихідному розчині від 3 до 51 г/дм<sup>3</sup> збільшення вмісту магній хлориду призводить до збільшення виходу MgO. Максимальний вихід магній оксиду склав 79,07 % від стехіометричної кількості при концентрації магній хлориду у вихідному розчині 51,29 г/дм<sup>3</sup>.

2. Збільшення часу процесу осадження дозволяє суттєво збільшити вихід магній оксиду. При однаковій концентрації магній хлориду у вихідному розчині за тривалості осадження 3 години вихід магній оксиду склав 79,07 % від стехіометричного, в порівнянні з 54,89 % при тривалості осадження 2 години.

3. Підвищення температури осадження не має суттєвого впливу на загальний вихід магній оксиду. При однаковій концентрації магній хлориду у вихідному розчині 11,84 г/дм<sup>3</sup> при температурі осадження 50 °С вихід магній оксиду склав 47,98 % від стехіометричного, а при 80°C— 49,51 %, що вказує на відсутність залежності виходу продукту від температури осадження.

#### Список використаної літератури

1. Ткаченко Е.Е., Шокота М.Ю., Белянська О.Р., Кравченко О.В., Дяченко В.Г. Використання бішофіту у технології мінеральних добрив. // Тези доповідей VII Міжнародної наукової конференції для студентів, аспірантів, і молодих учених «Хімічні проблеми сьогодення» (19–21 березня 2024 року). — Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2024. С. 139–140.
2. Сичов М.І. Особливості осадоутворення гідроксиду магнію при направленому гідролізі в розчинах хлориду магнію. *Збірник наукових праць ОДАТРА*. No 1(18) 2021. Р. 6–14.
3. Omelchenko N., Dmytrenko V., Lysenko N., Brailko A., Matrosenko M. Development of composition, formulations, based on natural bishofite, to protect wood from fire. *Eastern-European Journal of Enterprise technologies* 2019. No 5/10 (101). Р. 34–45.
4. Мала гірнича енциклопедія у 3 т. за ред. В.С. Білецького. Донецьк: Донбас. 2007. Т.1. 640 с.
5. Шокота М.Ю., Кравченко О.В., Гуляев В.М., Коваленко А.Л. Дослідження та вдосконалення процесу отримання магній оксиду з розчинів хлориду за аміачною схемою. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського*. Серія: Технічні науки. 2025. Том 36 (75), № 2. С. 312–317.

6. Dong H., Unluer C., Yang E.-H., Tabbaa F. Fl, Recovery of reactive MgO from reject brine via the addition of NaOH. *Desalination* 2018. № 429. P. 372–388.
7. Kristova P., Hopkinson L., Rutt K., Hunter H., Cressey G. Carbonate mineral paragenesis and reaction kinetics in the system MgO–CaO–CO<sub>2</sub>–H<sub>2</sub>O in presence of chloride or nitrate ions at near surface ambient temperatures. *Applied geochemistry*. 2014. Vol. 50, P. 16–24.
8. Frost R., Hales M., Locke A., Kristof J., Horvath E., Vágvölgyi V. Controlled rate thermal analysis of hydromagnesite. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2008. Vol. 92, No. 3. P. 893–897.
9. Сичов М.І., Коломієць Л.В., Боряк К.Ф. Вивчення умов отримання сполук магнію особливої чистоти з його хлориду. *Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості*. 2017. № 1. P. 10–14.
10. Lili Guo, Zhen Li, Xinzhong Deng, Na Chen. Effect of processing parameters on the properties of electrolytically prepared Mg(OH)<sub>2</sub> powders. *Research Express*. 2022. No 9(8). P. 56–67.
11. Грозний К., Козаревич А., Ващенко Л., Белянська О., Кравченко О. Вплив технологічних параметрів на ефективність осадження гідроксиду і карбонату магнію з водних розчинів. // Тези доповідей Двадцять третьої Міжнародної науково-практичної конференції «Ресурси природних вод Карпатського регіону / Проблеми охорони та раціонального використання» (29–30 травня 2025 року). – Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2025. С. 102–103.
12. Jianping Lv, Longzhen Qiu and Baojun Qu. Controlled synthesis of magnesium hydroxide nanoparticles with different morphological structures and related properties in flame retardant ethylene-vinyl acetate blends *Nanotechnology*. 2004. No 15. P. 1576–1581.
13. Chenglin Yana, Dongfeng Xuea, Longjiang Zoub, Xiaoxing Yana and Wen Wang. Preparation of magnesium hydroxide nanoflowers. *Journal of Crystal Growth*. 2005. No 282(3–4), P. 448–454.
14. Mironyuk I., Gun'ko V., Povazhnyak M., Zarko V. Magnesia formed on calcination of Mg(OH)<sub>2</sub> prepared from natural bischofite. *Applied Surface Science*. 2006. Vol. 252, No 12. P. 4071–4082.
15. Joint research center of European Commission. Reference Document on Best Available Techniques for the Manufacture of Large Volume Inorganic Chemicals - Solids and Others industry. 2007.
16. Chu S.H., Yang E.H., Unluer C. Chemical synthesis of magnesium oxide (MgO) from brine towards minimal energy consumption. *Desalination*. 2023. No 556. P. 212–224.

## IMPACT OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF MAGNESIUM HYDROXIDE PRECIPITATION PROCESS FROM BISHOFITE USING AMMONIA TO THE YIELD OF MAGNESIUM OXIDE

### Abstract

This article presents an analysis of impact of technological parameters of the magnesium hydroxide precipitation from bishofite with use of ammonia solutions to the yield of magnesium oxide.

Magnesium oxide is used in many industries as steelmaking, refractory, rubber industry, manufacture of paper, building materials, ceramics, glass, cosmetics, medicine, agriculture and others. 16 million tons of magnesium oxide were produced worldwide in 2023 and this market continue to grow. There are two main ways of industrial production of magnesium oxide – “dry” method from magnesite mineral and “wet” method from magnesium chloride brines. 93 % of world’s volume of magnesium oxide is produced from magnesite. Such advantages of the technology of magnesium oxide production from bishofite as less environment pollution, and higher purity of the magnesium oxide were determined, the substances used for magnesium hydroxide precipitation in this technology were considered. Such prospects of use of ammonia for precipitation process as high levels of the target products purity and less environment pollution were determined. The impact to the yield of the target product of such technological parameters as magnesium chloride concentration in the start solution, precipitation time and temperature were explored.

In the range of MgCl<sub>2</sub> concentrations in the initial solutions from 3 to 51 g/dm<sup>3</sup>, an increase of magnesium chloride concentration leads to an increase of MgO yield. Increasing of precipitation time

allows to increase significantly the target product yield. Increasing of the precipitation temperature doesn't have a significant impact to MgO yield.

### References

- [1] Tkachenko E., Shokota M., Belyanska O., Kravchenko O., Dyachenko V. (2024). Vykorystannia bishofitu u technologii mineralnyh dobriv. [Use of bishofite in technology of mineral fertilizers]. Proceedings from VII Mizhnarodna naukova konferentsia dlya studentiv, aspirantiv ta molodyh naukovtsiv "Khimichni problem syogodennya" — The Seventh International scientific conference for students, post-graduated students and young scientists "Chemical problems of present", (pp 139-140) Vynnytsya TOV «TVORY». [in Ukrainian].
- [2] Sychov M. (2021). Osoblyvosti osadoutvorennia hydroksydu mahniyu pry napravlenomy hidrolisi v roschinakh khlorody mahniyu. [Peculiarities of magnesium hydroxide precipitation during directed hydrolysis in magnesium chloride solutions]. *Zbirnyk naukovykh prats Odeskoi Derzhavnoi Akademii Tehnichoyi Regulyatsyi ta Yakosti — Collection of scientific papers of Odesa State Academy of Technical Regulation and Quality*, (Vol. 1 (18)) (pp. 6–14), Odesa [in Ukrainian].
- [3] Omelchenko N., Dmytrenko V., Lysenko N., Brailko A., Matrosenko M. (2019). Development of composition, formulations, based on natural bishofite, to protect wood from fire. *Eastern-European Journal of Enterprise technologies*. 5/10 (101), 34–45.
- [4] Biletskyi V. (Ed). (2007). Mala Girnycha Encyclopedia [Small Mining Encyclopedia]. (Vols. 1–3) Donetsk: Donbass [in Ukrainian].
- [5] Shokota M., Kravchenko O., Gulyaev V., Kovalenko A. (2025). Doslidzhennya ta vdoskonalennya protsesu otrymannya mahniy oksydu z rozchiniv khlorody za amiachnoyu schemoyu [Research and improvement of the process of magnesium oxide obtaining from chloride solutions through ammonia scheme]. *Naukovy zapysky TNU imeny Vernadskoho — Scientific notes of TNU Vernadskyyi*, 36, 312–317 [in Ukrainian].
- [6] Dong H., Unluer C., Yang E-H., Tabbaa F. Fl (2018). Recovery of reactive MgO from reject brine via the addition of NaOH. *Desalination*, 429, 372–388.
- [7] Kristova P., Hopkinson L., Rutt K., Hunter H., Cressey G. (2014). Carbonate mineral paragenesis and reaction kinetics in the system MgO–CaO–CO<sub>2</sub>–H<sub>2</sub>O in presence of chloride or nitrate ions at near surface ambient temperatures. *Applied geochemistry*, 50, 16–24.
- [8] Frost R., Hales M., Locke A., Kristof J., Horvath E., Vágvölgyi V (2008). Controlled rate thermal analysis of hydromagnesite. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Vol. 92, 3, 893–897.
- [9] Sychov M., Kolomyets L., Boryak K. (2017). Vychennya umov otrymannya spoluk mahniu osoblyvoyi chystoty z yougo khlorody [Study of conditions of magnesium compounds of high purity obtaining from its chloride]. *Zbirnyk naukovykh prats Odeskoi Derzhavnoi Akademii Tehnichoyi Regulyatsyi ta Yakosti — Collection of scientific papers of Odesa State Academy of Technical Regulation and Quality*, (Vol. 1 (10)) (pp. 10–14), Odesa [in Ukrainian].
- [10] Lili Guo, Zhen Li, Xinzhong Deng, Na Chen. (2022). Effect of processing parameters on the properties of electrolytically prepared Mg(OH)<sub>2</sub> powders. *Research Express*, 9(8), 56–67.
- [11] Hroznyy K., Kozarevich A., Vashchenko L., Belyanska O., Kravchenko O. (2025). Vplyv tekhnologichnykh parametriv na efektyvnist' osadzhennya hydroksydu i karbonatu mahniyu z vodnykh rozchiniv [Impact of technological parameters to the efficiency of precipitation of magnesium hydroxide and carbonate from water solutions]. Proceedings from 23 Myzhnarodnoi Naukovoyi ta practychnoi Conferentsyi "Pryrodni Vodni Resursy Karpatskoho Regionu | Problemy zahystu ta ratsionalnogo vykorystannya — 23-rd International Scientific and Practical Conference "Natural Water Resources of Carpathian region | Problems of protection and rational use", Lviv [In Ukrainian].
- [12] Jianping Lv, Longzhen Qiu and Baojun Qu. (2004). Controlled synthesis of magnesium hydroxide nanoparticles with different morphological structures and related properties in flame retardant ethylene-vinyl acetate blends. *Nanotechnology*. 15, 1576–1581.
- [13] Chenglin Yana, Dongfeng Xuea, Longjiang Zoub, Xiaoxing Yana and Wen Wanga. (2005). Preparation of magnesium hydroxide nanoflowers. *Journal of Crystal Growth*, 282(3–4), 448–454.

- [14] Mironyuk I., Gun'ko V., Povazhnyak M., Zarko V. (2006). Magnesia formed on calcination of  $Mg(OH)_2$  prepared from natural bischofite. *Applied Surface Science*, Vol. 252, 4071–4082.
- [15] Joint research center of European Commission. (2007). Reference Document on Best Available Techniques for the Manufacture of Large Volume Inorganic Chemicals - Solids and Others industry.
- [16] Chu S.H., Yang E.H., Unluer C. (2023). Chemical synthesis of magnesium oxide (MgO) from brine towards minimal energy consumption. *Desalination*, 556. P. 212–224.

*Надійшла до редколегії 29.09.2025*

*Прийнята після рецензування 12.11.2025*

*Опублікована 26.03.2026*