

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 661.846

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2026.1.1/29>**Шокота М.Ю.**<https://orcid.org/0009-0005-2523-0309>

Дніпровський державний технічний університет

Кравченко О.В.<https://orcid.org/0009-0006-8833-3441>

Дніпровський державний технічний університет

Гуляєв В.М.<https://orcid.org/0000-0002-4991-6250>

Дніпровський державний технічний університет

Коваленко А.Л.<https://orcid.org/0000-0003-1496-6634>

Дніпровський державний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ СИНТЕЗУ НАНОРОЗМІРНОГО МАГНІЙ ГІДРОКСИДУ З МОДИФІКОВАНОЮ ПОВЕРХНЕЮ

Робота присвячена розробці та експериментальній валідації способу цілеспрямованого отримання нанорозмірного магній гідроксиду ($Mg(OH)_2$) з керованими морфологічними характеристиками та поверхневою модифікацією, придатного для використання як наповнювач-антипірен у полімерних композиціях. Показано, що використання розчинів магній хлориду природного походження (бішофіту) у поєднанні з лужним реагентом (натрій гідроксидом, амоніаком або іншими гідроксидами лужних/лужноземельних металів) дозволяє керувати процесом нуклеації й росту кристалів $Mg(OH)_2$ за допомогою введення розчинних хлоридів ($NaCl$, KCl , $CaCl_2$, NH_4Cl) у момент утворення зародків. Експериментально опрацьовано як одноетапні, так і двоетапні режими синтезу з термогідротермічною обробкою при температурах 100–200 °C під аутогенним тиском, що забезпечує регулювання питомої поверхні та агломератного складу продукту. Досліджено ключову роль присутності розчинних хлоридів у момент нуклеації: вони утворюють сольватну оболонку на зародках, яка гальмує хаотичне зростання і агломерацію, що дозволяє отримувати дрібніші агломерати та керовану гетерогенність розмірного складу. Запропоновано оптимальні температурні інтервали (переважно 140–180 °C на другому етапі) для забезпечення питомої поверхні ≤ 30 м²/г, що необхідна для застосування у полімерних композиціях. Окремо розглянуто технологічні аспекти: використання електролізу (продукт електролізу $NaCl$) як джерела суміші $NaCl+NaOH$, можливість промивки осаду для зниження вмісту хлоридів перед високотемпературною стадією з метою зменшення корозійних вимог до апаратури та зниження обсягів стічних вод. Отримані матеріали відповідають вимогам наповнювача-антипірену: низька питома поверхня, пластинчаста морфологія первинних частинок у нанорозмірному діапазоні, ефективна поверхнева модифікація. Практична значущість методу полягає в можливості використання природних розчинів $MgCl_2$ (бішофіту) і побічних продуктів (електролізу) для економічного синтезу високоякісного $Mg(OH)_2$ з мінімальною кількістю додаткових очищувальних операцій, а також у гнучкості процесу для отримання матеріалів із заданими фізико-хімічними параметрами, придатних для промислового впровадження.

Ключові слова: магній гідроксид, осадження, фільтрація, кристалізація, поверхнева модифікація, бішофіт.

© Шокота М.Ю., Кравченко О.В., Гуляєв В.М. та ін., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0



Постановка проблеми. Магній гідроксид ($Mg(OH)_2$) знаходить широке застосування в промисловості, будівництві, медицині та сільському господарстві. Особливий інтерес представляє застосування $Mg(OH)_2$ як антипірена у виробництві полімерних композицій, термопластів, еластомерів, гумових сумішей та в паперовій промисловості [1, с. 89]. Крім того, $Mg(OH)_2$ є ефективною альтернативою традиційно використовуваним антипіренам, таким як хлор-, бром-, фосфоровмісні органічні сполуки. При розкладанні під час пожежі, на відміну від органічних антипіренів, $Mg(OH)_2$ не виділяє отруйних або корозійних продуктів, має високу димо-пригнічуючу здатність. $Mg(OH)_2$ є високоефективним наповнювачем, що надає полімерним композиціям унікальні фізико-механічні властивості при експлуатації виробів [2, с. 411].

Особливий інтерес представляє $Mg(OH)_2$, що має нанорозмірну пластинчасту структуру. Крім властивостей антипірену і подавлювача диму при виробництві пластиків нанорозмірний $Mg(OH)_2$ дозволяє підвищити продуктивність обладнання та покращити споживчі властивості пластиків, такі як вогнестійкість, стійкість до ударів, хімічна стійкість, бар'єрні властивості (зниження газопроникності) [3, с. 5536]. Тобто фізико-механічні властивості не погіршуються, як при звичайних наповненнях, а значно покращуються.

У промисловості $Mg(OH)_2$ одержують такими способами [4, с. 144]:

- з різних сортів збагаченої кускової бруситової руди шляхом сушіння, дроблення, помелу;
- гідратацією магній оксиду, який одержують випалом природної сировини (магнезиту, доломіту, бруситу) або термогідролізом магній хлориду (бішофіту);
- методом осадження $Mg(OH)_2$ з розчинів солей природного походження (морська вода, озерна ропа, підземні розсоли та бурові води та т.п.) або синтетичного походження гідроксидом лужного або лужноземельного металу, або амонію, або карбонатом лужного металу.

Отримання $Mg(OH)_2$ з бруситової руди є простим і економічним способом, проте родовища високоякісного бруситу, придатні для промислової розробки, трапляються рідко. Крім того, цей продукт містить велику кількість домішок.

Гідратація $Mg(OH)_2$, отриманого випалом магнезиту, доломіту, або бруситу, також є простим та економічним способом, але, як і в попередньому способі, продукт містить велику кількість небажаних домішок. Гідратація MgO , отриманого термогідролізом [5, с. 4073], призводить до отримання

високоякісного $Mg(OH)_2$, проте термогідроліз є енергоємним процесом, що вимагає дорогого корозійностійкого обладнання та супроводжується утворенням великої кількості (10 т/т MgO) кислих розчинів з масовою часткою HCl 15-20%.

Отримання $Mg(OH)_2$ методом осадження розчинів солей магнію є найбільш перспективним в економічному та технологічному плані для отримання наповнювача полімерних матеріалів, у тому числі і нанорозмірного [6, с. 45]. Для застосування як наповнювач і антипірен в різних полімерних матеріалах та композиціях, $Mg(OH)_2$ повинен мати відносно низьку питому поверхню – ≤ 20 м²/г, середній діаметр частинок у межах 0,1-5,0 мкм і бути поверхнево обробленим спеціальними модифікаторами, органічні сполуки, що являють собою, в кількості 0,1-5,0% від маси $Mg(OH)_2$. Роль модифікуючих добавок полягає в тому, що вони суттєво підвищують сумісність $Mg(OH)_2$ з полімерами, знижують вологопоглинання, покращують стабільність композиційних матеріалів, а також їх фізико-механічні властивості [7, с. 180].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. З літературних джерел відомо безліч різних методів поверхневої обробки $Mg(OH)_2$ з використанням широкої гами модифікуючих агентів. Як модифікатори зазвичай використовують граничні або ненасичені жирні кислоти з числом атомів Карбону від 8 до 30, алкілсилани, що мають принаймні одну групу, що містить не менше трьох атомів Карбону, органотитанати та органоцирконати, аміносилани та ін. Іноді здійснюють покриття поверхні частинок $Mg(OH)_2$ двома та більше модифікуючими агентами, тобто проводять двошарове та багатшарове нанесення [8, с. 40].

Для отримання $Mg(OH)_2$ з низькою питомою поверхнею суспензію магній гідроксиду витримують в автоклаві при температурі 160-200°C аутогенному тиску або в цих умовах проводять процес отримання. Так, у роботі [9, с. 994] запропоновано спосіб отримання $Mg(OH)_2$ взаємодією 5,0% розчину $MgCl_2$ з водним розчином лужного реагенту. Процес проводять у періодичному чи безперервному режимі при одночасному дозуванні вихідних реагентів у суспензію $Mg(OH)_2$. Даний спосіб дозволяє отримувати крупнозернистий $Mg(OH)_2$ с кристалами, середні розміри яких перевищують 30 мкм. Такий продукт може використовуватись:

- як сорбент у водопідготовці та водоочисненні;
- для нейтралізації кислих промислових та побутових стоків, очищення газів, видалення важких металів;

– у виробництві іонообмінних смол, реагентів, засобів для чищення, магнезійних в'язучих, вогнетривких цегли, базальтового волокна, у виробництві скла та кераміки.

Однак він не придатний як наповнювач при виробництві полімерних композицій.

У низці робіт [10-12] запропоновані способи отримання $Mg(OH)_2$, придатного для виробництва полімерних матеріалів, шляхом осадження магній гідроксиду з розчинів водорозчинних солей магнію обробкою амоніаком. Ці способи дозволяють отримувати нанорозмірний продукт з показниками форми, розміру та питомої поверхні кристалів та агломератів кристалів $Mg(OH)_2$, що відповідають вимогам для наповнювача-антипірену полімерних матеріалів. Недоліком способу є те, що при синтезі необхідно використовувати великий надлишок амоніаку, а також необхідність додаткових витрат за досить складну стадію його регенерації.

У роботі [13, с. 28] описаний спосіб, заснований на осадженні $Mg(OH)_2$ розчинів водорозчинних солей магнію не тільки амоніаком, але і гідроксидом лужного металу чи кальцію. Однак цей спосіб не передбачає модифікацію поверхні $Mg(OH)_2$.

Відповідно до роботи [14, с. 557], $Mg(OH)_2$ отримують при температурі 40-120°C взаємодією різних солей магнію (фториду, хлориду, бромиду, хлорату, бромату, сульфїту, сульфату, нітрату) з надлишком гідроксиду лужного або лужноземельного металу чи амонію. Синтез проводять у присутності модифікаторів (солі органічних кислот). За цим способом отримують частинки $Mg(OH)_2$ пластинчастоподібної форми з товщиною 3-20 нм і середнім розміром близько 1 мкм. Однак, продукт, отриманий за цим способом, має велику (більше 30 м²/г) питому поверхню, що негативно позначається на властивостях полімерних матеріалів.

Постановка завдання. Мета роботи – отримання нанорозмірного $Mg(OH)_2$ з заданими характеристиками і модифікованою поверхнею, шляхом взаємодії магній хлориду (бішофіту) з гідроксидом лужного металу.

Виклад основного матеріалу. У реактор об'ємом 1,2 м³, з мішалкою і сорочкою, завантажували 2,7 кг розчину бішофіту з масовою часткою $MgCl_2$ 32%. Розчин при перемішуванні нагрівали до 45-50°C. Потім при перемішуванні (1000 хв⁻¹) завантажували 7 кг електролізу з температурою 50°C, отриманого в результаті електролізу NaCl в діафрагмовому електролі-

зері. Електроліт містив 10 мас.% NaOH натрію і 15 мас.% NaCl. Реакційну масу з часткою NaCl 22% витримували протягом 0,5-1,0 год при перемішуванні, температурі 45-50°C і атмосферному тиску. Після витримки, реакційну масу фільтрували та промивали на фільтр-пресі. Осад сушили в сушарці киплячого шару іподрібнювали у дезінтеграторі. Отримували 5 кг $Mg(OH)_2$, що являв собою агломерати частинок з діаметром 55 мкм та питомою поверхнею 60 м²/г, при цьому первинні частинки були неправильної форми (рисунок 1). Питому поверхню визначали за методом БЕТ, середній розмір агломератів частинок – на приладі Mastersizer методом лазерної дифракції, форму та розмір первинних частинок визначали за зображенням скануючого електронного мікроскопа.

Далі отриманий осад завантажували в реактор, додавали демінералізовану воду для отримання суспензії з масовою часткою твердої фази 10-12%. Потім нагрівали до температури 170°C витримували при цій температурі та аутогенному тиску (0,7 МПа) протягом 12 год. Після закінчення витримки реакційну масу фільтрували на фільтр-пресі. Отримували 5,1 кг $Mg(OH)_2$, який являв собою агломерати частинок пластинчастої форми з діаметром 2,2 мкм і питомою поверхнею 4,4 м²/г. Первинні частки мали поздовжній розмір 400-500 нм (рисунок 2).

Окрему партію одержаного осаду завантажували в реактор, додавали демінералізовану воду для отримання суспензії з масовою часткою твердої фази 10% і 10 г стеаринової кислоти. Потім реакційну масу нагрівали до температури 180°C витримували при цій температурі і аутогенному тиску 0,9 МПа протягом 12 год. Після закінчення витримки суспензію $Mg(OH)_2$ охолоджували і подавали ультра-ротатор. В ультра-ротаторі одночасно проводили сушіння, подрібнення та додаткове модифікування. Як додатковий модифікатор використовували метилсилоксанову рідину, 50 г якої подавали в ротор одночасно з суспензією $Mg(OH)_2$. Отримували 5,25 кг чистого $Mg(OH)_2$, що являв собою агломерати частинок пластинчастої форми з діаметром 1,3 мкм та питомою поверхнею 4 м²/г. Частинки мали розмір 20-300 нм та товщину 25-45 нм (рисунок 3).

У тригорлий скляний реактор, з мішалкою, термометром і воронкою, завантажували бішофіт з масовою часткою $MgCl_2$ 5,5% і NH_4Cl 11%. При кімнатній температурі та перемішуванні (1000 хв⁻¹) у протягом 20 хв дозували розчин амоніаку з масовою часткою NH_3 25%. Мольне співвідно-

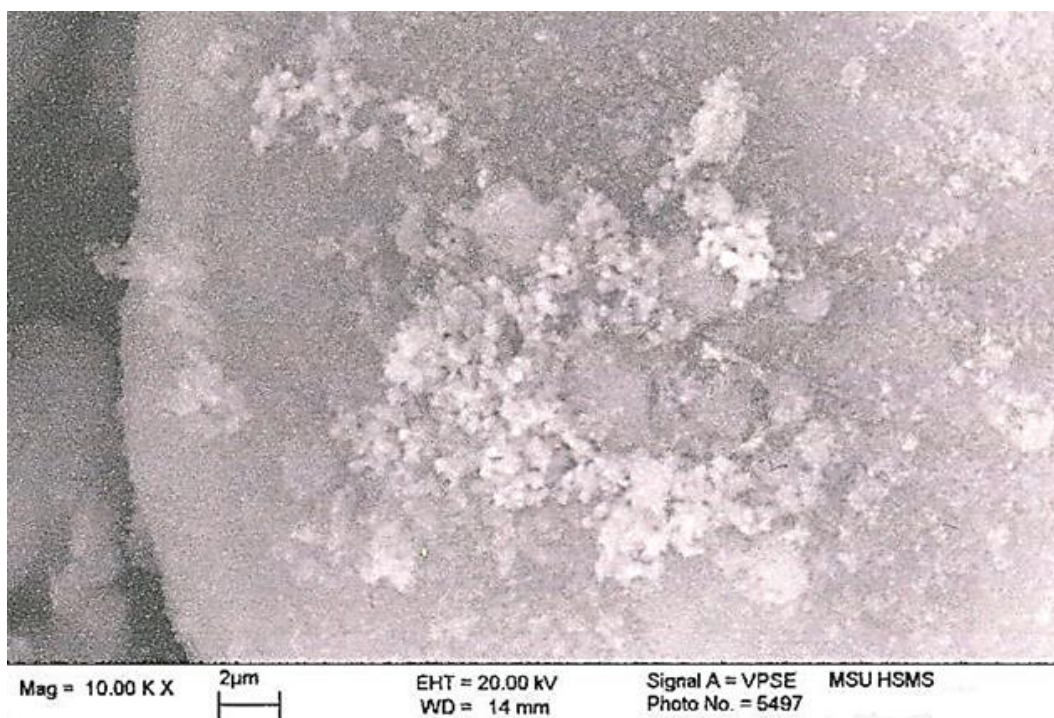


Рис. 1. Мікрофотографія частинок $Mg(OH)_2$

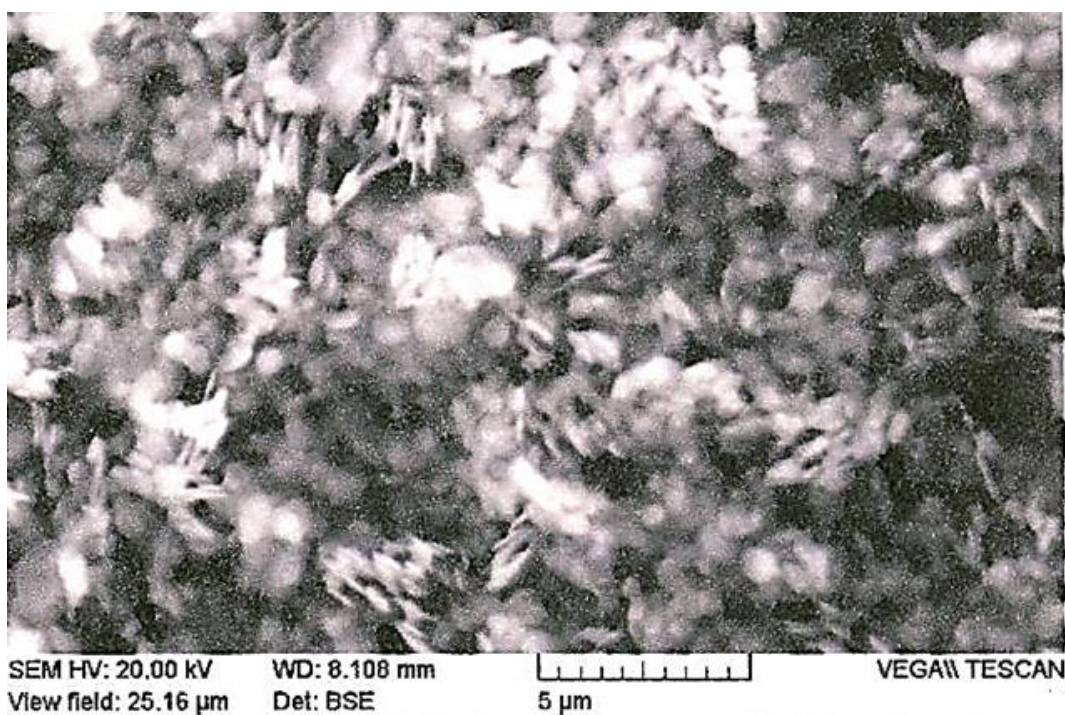


Рис. 2. Мікрофотографія частинок $Mg(OH)_2$ після 12-годинної витримки при аутогенному тиску

шення « $NH_4OH:MgCl_2$ » становило 2:1. Реакційну масу при перемішуванні нагрівали до температури $50^\circ C$ витримували 30 хв при атмосферному тиску. Після закінчення витримки суспензію $Mg(OH)_2$ фільтрували на лабораторному вакуум-фільтрі, осад багаторазово промивали від солей репуль-

пацією з наступною декантацією. Відмиту від солей суспензію фільтрували на лабораторному вакуум-фільтрі, вологий осад сушили у сушильній шафі при температурі $105^\circ C$. Висушений осад подрібнювали в кульовому млині. Отриманий із виходом 99,8% від теоретичного $Mg(OH)_2$ являв

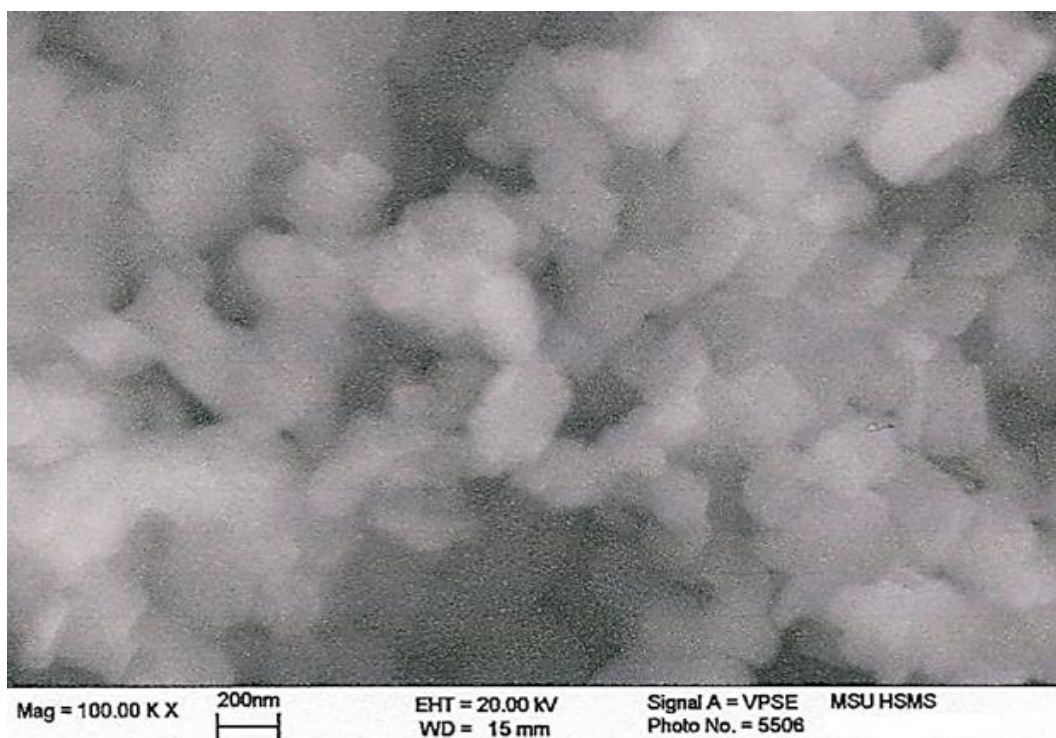


Рис. 3. Мікрофотографія частинок $Mg(OH)_2$ після обробки стеариною кислотою

собою агрегати частинок з діаметром 0,85 мкм та питомою поверхнею 8 м²/г. Первинні частинки мали поздовжній розмір 200-400 нм та товщину 20-40 нм (рисунок 4).

Наявність у реакційному середовищі хлоридів натрію, калію, кальцію, або амонію в момент утворення зародків кристалів $Mg(OH)_2$ дуже важлива. Вказані хлориди утворюють сольватну оболонку на поверхні зародків кристалів, яка перешкоджає хаотичному зростанню частинок та їх агрегації. За відсутності зазначених хлоридів утворюються великі кристали та агрегати. У міру збільшення концентрації вказаних хлоридів, утворюються все дрібніші агрегати, що призводить до отримання $Mg(OH)_2$, що складається з неоднорідних за розміром та формою кристалів.

Шляхом регулювання початкової концентрації хлоридів в реакційній суміші, а також температури процесу і інтенсивності перемішування, вдалося отримати $Mg(OH)_2$ із заданими характеристиками, такими як питома поверхня, форма і розмір частинок та агрегатів частинок. Процес проводили в періодичному режимі, в один етап при температурі до 200°C та атмосферному тиску або у два етапи: на першому етапі при температурі 100°C атмосферному тиску, але в другому етапі – при температурі $\leq 200^\circ C$ під аутогенним тиском, який створювався парами води в замкнутому об'ємі.

При отриманні $Mg(OH)_2$ у два етапи доцільно проводити перший етап, що протікає при температурі 100°C при атмосферному тиску, тобто у відкритому об'ємі. На другому етапі температуру $\leq 200^\circ C$ у відкритому об'ємі створити неможливо, тому його проводили в закритому об'ємі при аутогенному тиску, який створювався парами води при температурі процесу. Слід зазначити, що при температурі 100°C утворювалися частинки з питомою поверхнею ≥ 30 м²/г. Для отримання частинок $Mg(OH)_2$ з питомою поверхнею ≤ 30 м²/г, що необхідно для його застосування в полімерах, процес слід проводити при температурі 100-200°C, оптимально – при 140-180°C. За такої температури хлориди лужних металів або амонію значно прискорюють утворення кристалів $Mg(OH)_2$ з мінімальною питомою поверхнею, однак такі умови вимагають дорогих конструкційних матеріалів для обладнання, наприклад, титану. У цих умовах сталі та сплави схильні до корозії, що особливо небезпечно, оскільки процес проводять під тиском.

Враховуючи це, після першого етапу $Mg(OH)_2$ відмивали від хлоридів, а на другому етапі витримували демінералізовану воду при температурі 140-180°C. Цей прийом знижує швидкість утворення кристалів $Mg(OH)_2$ з низькою питомою поверхнею та вимагає обладнання більших габаритів, проте допускає використання більше

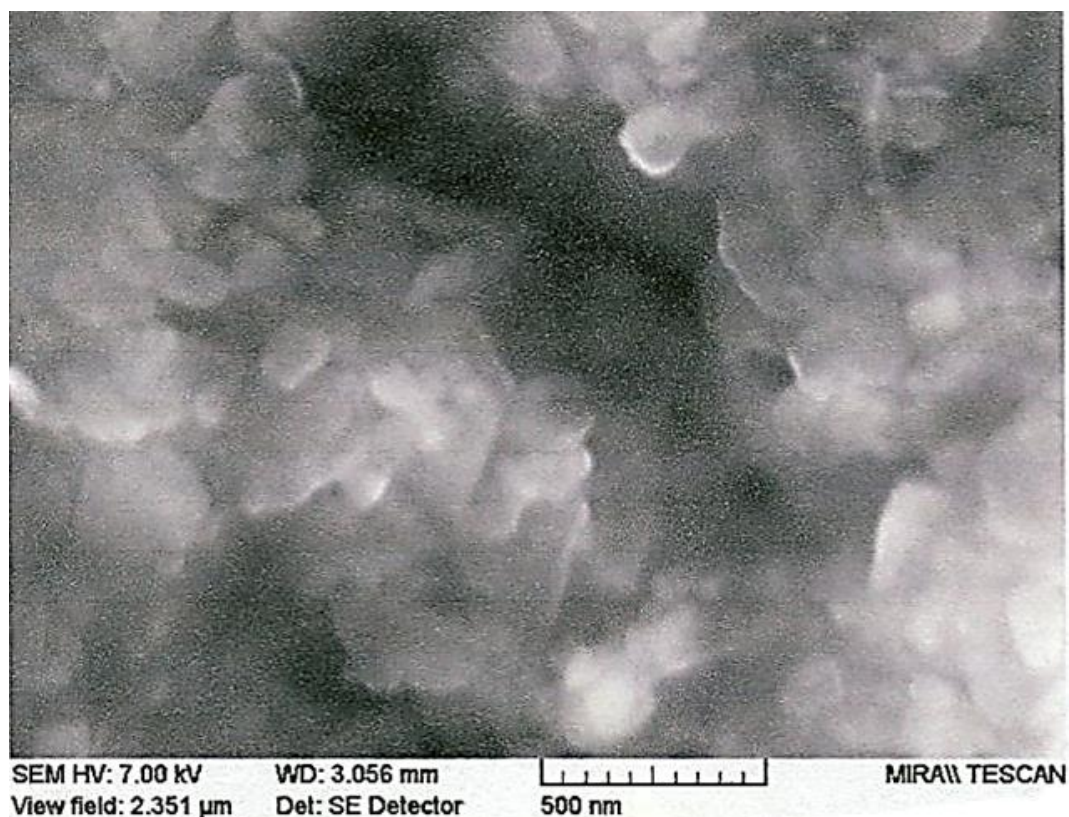


Рис. 4. Мікрофотографія частинок $Mg(OH)_2$ після обробки амоніаком

дешевих конструкційних матеріалів. Крім того, це дозволяє отримувати $Mg(OH)_2$ з мінімальним вмістом хлоридів. При цьому хлориди лужних металів або амонію можна подавати у водному розчині відповідного гідроксиду або розчині $MgCl_2$. Як вихідний розчин можна використовувати фільтрат, отриманий при виділенні $Mg(OH)_2$ з реакційної суміші. Це дозволяє знизити витрату демінералізованої води та зменшити кількість стічних вод.

Як сировину використовували також електролуг, отриманий в результаті електролізу $NaCl$ в діафрагмовому електролізері. Електролуг являв собою водний розчин з масовою часткою $NaCl$ 12-15% та масовою часткою $NaOH$ 10-12%. При отриманні високоякісного $Mg(OH)_2$ розчини $MgCl_2$ піддають очищенню від сполук, що містять Br , B , S , Fe , Al , важкі метали, а також від сульфідів, сульфатів, карбонатів та фосфатів лужних металів.

Виділення $Mg(OH)_2$ проводили різними способами: декантацією, згущенням, фільтруванням з подальшим промиванням від солей, сушінням і помелом. Сушіння $Mg(OH)_2$ переважно проводили в розпилювальній сушарці, а помел – у кульовому млині.

При необхідності, поверхню $Mg(OH)_2$ обробляють модифікаторами. Модифікатор вносять у кількості від 0,1 до 5,0 мас.% у розрахунку сухий $Mg(OH)_2$. Модифікацію проводять окремою стадією або поєднують з процесом синтезу. Як модифікатори використовують:

- граничні та ненасичені жирні кислоти, що містять від 8 до 20 атомів Карбону (стеаринова, олеїнова, лаурилова або пальмітинова);
- алкілсульфати, алкілсульфонати або їх кислоти;
- різні елементоорганічні сполуки фосфору, кремнію, титану, цирконію та/або їх суміші;
- фосфорорганічні кислоти та їх солі;
- похідні Силіціуму: алкілсилоксани, вінілсилани, аміносилани;
- органічні титанати та цирконати.

Пропонований у роботі спосіб дозволяє цілеспрямовано отримувати $Mg(OH)_2$, що складається з нанорозмірних частинок з питомою поверхнею ≤ 100 м²/г. Первинні частки мають переважно пластинчасту форму з поздовжнім розміром 600 нм та товщиною 60 нм. Вторинні частки є агломерати з первинних частинок неупорядкованої або впорядкованої форми та мають середній розмір ≤ 50 мкм. Запропонований спосіб отримання

Mg(OH)₂ дозволяє отримувати мікро- та/або нанорозмірний продукт з модифікованою поверхнею, який є не тільки ефективним антипіреном, але й надає полімерам покращені фізичні властивості.

Висновки. Розроблений спосіб дозволяє цілеспрямовано отримувати Mg(OH)₂ нанорозмірної пластинчастої морфології з керованими параметрами (питома поверхня, розмір первинних частинок та агломератів) шляхом регулювання концентрації хлоридів у момент нуклеації, температури та режиму гідротермічної обробки.

Показано, що двоетапний режим (початкове осадження при ≈100 °C на атмосферному тиску з подальшою гідротермічною обробкою при 140–180 °C під аутогенним тиском) ефективний для отримання продукту з питомою поверхнею ≤30 м²/г, придатного як наповнювач-антипірен.

Внесення органічних модифікаторів у кількості 0,1–5,0 мас.% підвищує сумісність Mg(OH)₂ з полімерними матрицями, знижує вологопоглинання та поліпшує технологічні властивості композицій.

Використання електролізу (NaCl + NaOH) і бішофіту як вихідної сировини робить технологію економічно привабливою; промивка осаду перед високотемпературною стадією дозволяє зменшити корозійні вимоги до обладнання та обсяг стічних вод.

Отримані матеріали демонструють хороші властивості як антипірени та димопригнічувачі та можуть бути впроваджені в промислове виготовлення полімерних композицій за умови оптимізації масштабування та контролю залишкового вмісту хлоридів.

Список літератури:

1. Zhao M., Liu P. Thermal stabilities of poly (vinyl chloride)/magnesium hydroxide (PVC/MH) composites. *Materials Research Innovations*. 2007. Vol. 11. №. 2. P. 88–91. <https://doi.org/10.1179/143307507X196635>
2. Taglieri G. et al. Mg (OH) 2 nanoparticles produced at room temperature by an innovative, facile, and scalable synthesis route. *Journal of Nanoparticle Research*. 2015. Vol. 17. №. 10. P. 411. <https://doi.org/10.1007/s11051-015-3212-1>
3. Tai C. Y. et al. Synthesis of magnesium hydroxide and oxide nanoparticles using a spinning disk reactor. *Industrial & engineering chemistry research*. 2007. Vol. 46. №. 17. P. 5536–5541. <https://doi.org/10.1021/ie060869b>
4. Гуляєв В. М. та ін. Огляд способів виробництва магній оксиду. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки)*. 2025. Т. 1. №. 46. С. 143–151. <https://doi.org/10.31319/2519-2884.46.2025.17>
5. Mironyuk I. F. et al. Magnesia formed on calcination of Mg (OH) 2 prepared from natural bischofite. *Applied Surface Science*. 2006. Vol. 252. №. 12. P. 4071–4082. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2005.06.020>
6. Sichov M., Boryak K., Kolomiets L. Technology for Obtaining Highpure Magnesium Compounds Using the Hydrolytic Processes of Sedimentation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 1. №. 6. P. 43–52. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253544>
7. Коваленко А. Л. та ін. Екологічно-економічні аспекти видобутку магній оксиду з бішофіту. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки)*. 2025. Т. 2. №. 47. С. 178–186. <https://doi.org/10.31319/2519-2884.47.2025.20>
8. Taranenkova V. V., Korekian P. Y. Influence of inorganic additives on the water resistance of a magnesium binder. *Voprosy Khimii & Khimicheskoi Tekhnologii*. 2025. №. 1. P. 39–44. <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2025-158-1-39-44>
9. Komov I. L., Kulish E. Methods of exploration and investigation of the Magnesian raw material in Ukraine. *Mineral Deposits at the Beginning of the 21st Century*. 2022. P. 993–996. <https://doi.org/10.1201/9781003077503-253>
10. Tikhomirov E. A. et al. Proposals for developing raw-material base for magnesia production. *Refractories*. 1991. Vol. 32. №. 9. P. 533–537. <https://doi.org/10.1007/BF01287546>
11. Shand M. A. Occurrence of Magnesia Minerals and Production of Magnesium Chemicals and Metal. *The Lightest Metals: Science and Technology from Lithium to Calcium*. 2015. Vol. 4. P. 287. <https://doi.org/10.1002/9781119951438.eibc2343>
12. Shayakhmetova R. A. et al. Magnesium and silicon recovery from chrysotile asbestos waste of the deposit Zhitikara, Kazakhstan. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. №. 1. P. 31866. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-83239-0>
13. Holywell G. C. Magnesium: The first quarter millennium. *JOM*. 2005. Vol. 57. №. 7. P. 26–33. <https://doi.org/10.1007/s11837-005-0248-1>
14. Миронюк І. Ф. та ін. Будова та морфологічні особливості частинок гідроксиду магнію, одержаного методом осадження. *Physics and chemistry of solid state*. 2008. Т. 9. №. 3. С. 555–563.

Shokota M.Yu., Kravchenko O.V., Gulyayev V.M., Kovalenko A.L. RESEARCH INTO THE PATTERNS OF SYNTHESIS OF NANOSCALE MAGNESIUM HYDROXIDE WITH A MODIFIED SURFACE

This study presents the development and experimental validation of a controlled synthesis route for nanosized magnesium hydroxide ($Mg(OH)_2$) with a tailored morphology and surface modification, intended for use as a flame-retardant filler in polymer composites. It is demonstrated that precipitation from magnesium chloride solutions (bischofite) combined with alkaline reagents (sodium hydroxide, ammonia) enables precise control over nucleation and crystal growth by introducing soluble chlorides ($NaCl$, KCl , $CaCl_2$, NH_4Cl) at the moment of seed formation. Both single-stage and two-stage synthesis regimes with hydrothermal treatment at 100–200 °C under autogenous pressure were studied to control the specific surface area and agglomerate structure. This study highlights the pivotal role of soluble chlorides in nucleation. Chloride ions create a solvation shell at the crystal seeds, suppressing uncontrolled particle growth and agglomeration and enabling the formation of finer agglomerates and controllable size distributions. Optimal second-stage hydrothermal conditions (preferably 140–180 °C) were identified to achieve specific surface areas ≤ 30 m²/g required for polymer-filler applications. Technological aspects were addressed, including the use of electroluge (a by-product of $NaCl$ electrolysis) as a source of $NaCl$ and $NaOH$, washing protocols to reduce chloride content before high-temperature treatment (to lower corrosion requirements and wastewater volumes), and surface modification with organic agents (saturated fatty acids) in amounts of 0.1–5.0 wt. % to improve polymer compatibility, decrease moisture uptake, and enhance processing stability. The resulting materials meet the key specifications for flame-retardant fillers: low BET surface area, nanoscale plate-like primary particles, and effective surface treatment. The proposed method allows economical production from natural $MgCl_2$ solutions and process side streams, offering flexibility to obtain $Mg(OH)_2$ with target physico-chemical parameters suitable for industrial implementation.

Keywords: *magnesium hydroxide, precipitation, filtration, crystallization, surface modification, bischofite.*

Дата першого надходження статті до видання: 21.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 17.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 08.04.2026