

Є. О. МИХАЙЛОВА, М. О. МОРОЗ, О. Л. СІНЧЕСКУЛ

ХІМІЧНЕ ОСАДЖЕННЯ КАРБОНАТУ КАЛЬЦІЮ РІЗНИХ КРИСТАЛІЧНИХ МОДИФІКАЦІЙ

Досліджено процес осадження карбонату кальцію з рідинних відходів содових виробництв. Встановлено, що за різних технологічних умов утворюється осад CaCO_3 з різним вмістом кальциту, ватериту та арагоніту. Визначено параметри процесу, що дозволяють одержати продукт з максимально можливим вмістом кальциту, який є найбільш стійною кристалічною модифікацією. Це впливатиме на властивості хімічно осадженого карбонату кальцію як наповнювача.

Ключові слова: карбонат кальцію, кальцит, арагоніт, ватерит, хімічне осадження

Исследован процесс осаждения карбоната кальция из жидкостных отходов содового производства. Установлено, что при различных технологических условиях образуется осадок CaCO_3 с разным содержанием кальцита, ватерита и арагонита. Определены параметры процесса, позволяющие получить продукт с максимально возможным содержанием кальцита, который является наиболее устойчивой кристаллической модификацией. Это будет влиять на свойства химически осажденного карбоната кальция в качестве наполнителя.

Ключевые слова: карбонат кальция, кальцит, арагонит, ватерит, химическое осаждение

The general characteristic of calcium carbonate, which is widely used as filler in the creation of various composite materials, is given. The state of manufacture of the product in Ukraine is analyzed. The advantages of chemically precipitated CaCO_3 in comparison with the natural crushed material are shown. It is suggested to use liquid waste of soda production as a raw material for obtaining a synthetic product. The methods of experimental studies of the calcium carbonate deposition process and laboratory analysis of the resulting precipitate and mother liquor are described. It was determined that according to different technological conditions a precipitate of CaCO_3 with different content of calcite, vaterite and aragonite is formed. The parameters of the process, that allows getting the product with the maximum possible content of calcite, which is the most stable crystalline modification, are determined. This will affect the properties of chemically precipitated calcium carbonate as filler and will allow it to be used directly in the manufacture of paper, rubber and plastics.

Keywords: calcium carbonate, calcite, aragonite, vaterite, chemical precipitation

Вступ. Карбонат кальцію (CaCO_3) – найпоширеніший карбонатний наповнювач, що використовується в світовому промисловому виробництві. Основною сферою його споживання є виробництво пластмас, лакофарбових матеріалів, паперу, скла, сухих будівельних сумішей, кераміки, гумотехнічних виробів, металургійної продукції, харчів, фармацевтичних засобів, сільське господарство тощо. Широке застосування карбонату кальцію як наповнювача різноманітних композиційних матеріалів пояснюється його цінними властивостями, а саме: нетоксичністю, нешкідливістю, відсутністю запаху, білим кольором і низьким показником заломлення, низькою твердістю, широким інтервалом розмірів частинок, легкістю розподілення частинок наповнювача в більшості полімерів, здатністю нейтралізувати кислоти й надавати вторинний стабілізуючий ефект, зменшувати усадку при формуванні й затвердінні, стабільністю властивостей у широкому інтервалі температур [1].

Відповідно до DIN № 55918 у виробництві застосовуються дві основні форми карбонату кальцію, які ідентичні за своїм хімічним складом, але відрізняються способом отримання – природний і хімічно осаджений. Природний карбонат кальцію видобувають з надр землі та обробляють певним способом. Він поділяється на крейду (мінерал осадової породи, слабо

ущільнений, біогенного походження) та кальцит (мармур) (щільно зцементована крейда, що зазнала перекристалізацію під впливом високих тиску і температури). Хімічно осаджений карбонат кальцію – це синтетичний продукт, який виробляється в промисловості, переважно, за допомогою процесу карбонізації.

Аналіз стану питання. Карбонат кальцію на основі природної осадової крейди широко застосовується на вітчизняних підприємствах через значні запаси й велику кількість крейдяних кар'єрів в Україні. До 40 % потреби внутрішнього ринку задовольняють наступні виробниками природної крейди: ПрАТ "Суми-агропромбуд", ПрАТ "Слов'янський крейдо-вапняний завод", ПрАТ "Новгород-Сіверський завод будівельних матеріалів", ПрАТ "Волчярівський кар'єр", що випускають мелену та тонкодисперсну крейду [2].

Поклади кальцитів метаморфічного походження, порівняно з покладами осадової крейди в Україні, є незначними. Тому більше 60 % карбонату кальцію, що використовується як наповнювач композиційних матеріалів, імпортується за рахунок поставок мікрокальциту. Основними постачальниками виступають турецькі виробники – Oyuacarb, AnaCarb, Normal. Значне використання мікрокальциту пояснюється такими його властивостями як висока атмосферостійкість, високий коефіцієнт відбиття, низька гідрофільність, добра

сумісність з пігментами, низька потреба зв'язуючого. Крім того, кальцит, отриманий подрібненням мarmуру, має високу чистоту і, на відміну від інших природних карбонатів кальцію, не містить карбонату магнію [3]. Таким чином, природна крейда поки не може конкурувати з мікрокальцитом в тих галузях, де зазначені властивості наповнювачів найбільш критичні, а саме, у виробництві віконного профілю, панелей, шпалер, ливарних виробів з поліпропілену, концентратів барвників.

Застосування хімічно осадженого карбонату кальцію менш широке, ніж використання природної крейди, однак за рахунок зростання якісних показників (вмісту CaCO_3 , білизни, дисперсності) його частка в споживанні постійно збільшується. Найбільший приріст спостерігається у виробництві паперу, пластмас і гумотехнічних виробів, що відповідає приблизно 60 % споживання. Інші 40 % пов'язані з сектором виробництва побутової хімії та косметики. В Україні лідирує продукт, який виробляється ТОВ «Реактив» (м. Слов'янськ), що утримує 64 % ринку. Інші потреби покриваються за рахунок імпорту продукції компанії Solvay та інших постачальників.

Проведені дослідження фізико-хімічних властивостей карбонатів кальцію вітчизняних та закордонних виробників показали, що хімічно осаджений карбонат кальцію ТОВ «Реактив» має високі показники відносно питомої поверхні, поруватості та адсорбційної здатності [4]. Крім того, покриття на його основі мають значно вищу білизну й нижчу жовтизну порівняно з природною осадовою крейдою, що пояснюється вищою білизною хімічно осадженого карбонату кальцію у вихідному стані та меншою кількістю фарбувальних домішок (оксидів заліза, титану тощо) [5].

Треба відмітити, що в складі хімічно осадженого карбонату кальцію вітчизняного виробництва переважає кристалічна модифікація – арагоніт. За розподілом зв'язків Са—О кальцит і арагоніт значно відрізняються. Арагоніт має більш високу густину і твердість за рахунок гексагонального пакування атомів, але розташування групи CO_3^{2-} відносно атомів кальцію робить його менш стійким до хімічного і термічного впливів, в порівнянні з кальцитом [4].

Мета роботи. Отже, розвиток виробництва хімічно осадженого карбонату кальцію з високими показниками якості має значні перспективи в Україні. А можливість отримання синтетичного продукту у формі кристалів кальциту сприятиме розширенню сфери його споживання. Таким чином, метою наукової роботи є дослідження умов осадження, що дозволять одержати карбонат кальцію різних кристалографічних модифікацій, зокрема у вигляді кристалів кальциту.

Теоретична частина. Карбонат кальцію – це поліморфна речовина, яка практично не розчиняється у воді. Безводний CaCO_3 існує у вигляді трьох кристалічних модифікацій: кальциту, арагоніту та ватериту.

Кальцит – це стійкий за звичайних умов різновид CaCO_3 .

Кристали кальциту мають форму ромбоєдрів із гексагональною решіткою з просторовою групою $R\bar{3}c$ ($a = b = 4,990 \text{ \AA}$, $c = 17,061 \text{ \AA}$, $\alpha = \beta = 90^\circ$, $\gamma = 120^\circ$). Густина кристалів – $2,710 \text{ г/см}^3$ (293 К) [6].

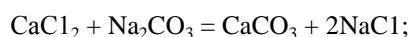
Арагоніт ($\lambda\text{-CaCO}_3$) – являє собою термодинамічно нестійку за звичайних умов модифікацію CaCO_3 . Кристали арагоніту зазвичай мають голчасту форму з ромбічною решіткою з просторовою групою $Pmnc$ ($a = 4,960 \text{ \AA}$, $b = 7,964 \text{ \AA}$, $c = 5,738 \text{ \AA}$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$). Густина $2,947 \text{ г/см}^3$ (298 К) [6]. За умов підвищених температур арагоніт достатньо швидко перетворюється у кальцит.

Ватерит ($\mu\text{-CaCO}_3$) – найменш стійка форма CaCO_3 . Утворює кристали з гексагональною решіткою з просторовою групою $P63$ ($a = b = 4,13 \text{ \AA}$, $c = 8,48 \text{ \AA}$, $\alpha = \beta = 90^\circ$, $\gamma = 120^\circ$), густиною $2,540 \text{ г/см}^3$ (293 К) [6]. З розчинів ватерит випадає у вигляді сферолітів, які не мають правильного ограновування. Поступово зі швидкістю, яка підвищується із зростанням температури, ватерит перетворюється в арагоніт, а деколи в кальцит.

Отримати карбонат кальцію з необхідними властивостями можливо, якщо процес осадження проводити з чистих розчинів, які містять добре розчинні солі кальцію. З цієї точки зору значний інтерес представляє одержання хімічно осадженого CaCO_3 на базі відходів содової галузі.

Авторами як сировину пропонується використовувати освітлену дистиляційну рідину виробництва кальцинованої соди, що містить $120 - 180 \text{ г/дм}^3$ хлоридів кальцію і натрію, і надлишковий маточний розчин виробництва очищеного гідрокарбонату натрію (харчової соди), до складу якого входять до 150 г/дм^3 карбонатних та гідрокарбонатних іонів. Ці обидва розчини не знаходять подальшого використання в циклі відповідних виробництв і перекачуються у великі земляні відстійники-накопичувачі – так звані «білі моря», або скидаються до природних водоймищ, створюючи екологічну небезпеку [7].

Експериментальна частина. Якісний склад освітленої дистиляційної рідини і надлишкового маточного розчину дає змогу отримати карбонат кальцію відповідно хімічним рівнянням:



У лабораторних умовах було проведено експериментальні дослідження, спрямовані на визначення параметрів процесу осадження карбонату кальцію, які дозволяють отримати продукт, що відповідає сучасним вимогам до даного виду наповнювачів. Осадження карбонату кальцію відбувалося в реакторі-осаджувачі, до якого у відповідній послідовності подавали вихідні розчини (введення надлишкового маточного розчину в освітлену дистилерну рідину, введення дистилерної рідини до надлишкового маточного розчину, одночасне змішування розчинів).

Процес проводили в заданому температурному режимі (323 – 363 К) при постійному перемішуванні реакційної суміші ($Re = 16\ 000$). Час процесу утворення осаду карбонату кальцію становив від 1 до 10 хв. Одержаний осад $CaCO_3$ відокремлювали від маточного розчину на вакуум-фільтрі, відмивали дистильованою водою від іонів хлору і висушували до постійної ваги. Далі зразки осадженого карбонату кальцію піддавали різним видам аналізів для встановлення його кристалографічної структури. Отриманий після фільтрації маточний розчин аналізували на залишковий вміст іонів кальцію для визначення ступеню його осадження.

Для з'ясування механізму осадження карбонату кальцію у процесі проведення досліджень було вивчено залежність фазового складу отриманих зразків $CaCO_3$ від основних технологічних параметрів процесу. Фазовий аналіз дослідних зразків карбонату кальцію виконували методом рентгенівської дифрактометрії. Зйомки відбувалися на рентгенівському дифрактометрі ДРОН-2 у випромінюванні залізного аноду при фокусовці за Брегом-Брентано. Дифракційна картина реєструвалася покрапково з автоматичним скануванням лічильника через $0,1^\circ$ і набором імпульсів у кожній крапці протягом 10 сек. Розшифровку отриманих дифрактограм здійснювали за допомогою даних картотеці ASTM. Точність встановлення певної фази складає від 2 до 5 %.

Залежність між розмірами і геометричною формою кристалів та основними характеристиками осадів карбонату кальцію визначали шляхом проведення мікроскопічного аналізу при використанні оптичного мікроскопу МИК-8.

Кінетика осадження кристалічних фаз карбонату кальцію вивчалася шляхом встановлення залежності ступеня осадження окремої фази $CaCO_3$ від часу. В свою чергу, ступінь осадження (α , %) визначали відповідно рівняння:

$$\alpha = \gamma \frac{C_n - C_3}{C_n} \cdot 100\%,$$

де γ – масова частка окремої фази $CaCO_3$; C_n – початкова концентрація іонів кальцію у вихідному розчині, $г/дм^3$; C_3 – залишкова концентрація іонів кальцію в фільтраті, $г/дм^3$.

Результати і обговорення. За результатами дифрактометричного аналізу було оцінено фазовий склад зразків осадженого карбонату, отриманих при одночасному змішуванні освітленої дистилерної рідини і надлишкового маточного розчину протягом певного часу за умов температур 323, 343 і 363 К відповідно. Встановлено, що температура і тривалість проведення процесу значно впливають на формування кристалів $CaCO_3$ різної модифікації. Причому, в кожному окремому випадку утворюється осад з різним вмістом кальциту, ватериту та арагоніту, що пояснюється зміною умов осадження та властивостями самої фази (Рис. 1 – 3).

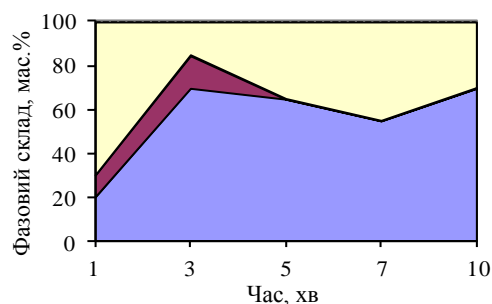


Рис. 1. – Зміна фазового складу осадів карбонату кальцію при 323 К: ■ кальцит; ■ арагоніт; ■ ватерит.

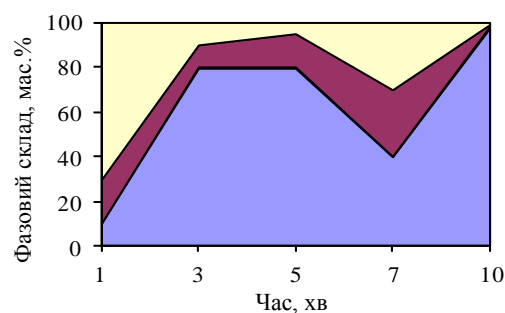


Рис. 2. – Зміна фазового складу осадів карбонату кальцію при 343 К: ■ кальцит; ■ арагоніт; ■ ватерит.

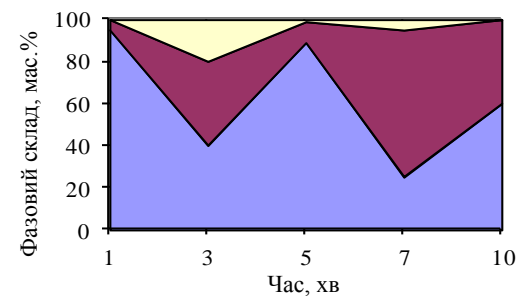


Рис. 3. – Зміна фазового складу осадів карбонату кальцію при 363 К: ■ кальцит; ■ арагоніт; ■ ватерит.

Аналіз представлених діаграм показав, що при більш низьких температурах в осадах CaCO_3 присутня значна кількість кристалів ватериту. У ході подальшого осадження під час збільшення часу і температури процесу частинки ватериту перекристалізуються у кальцит або арагоніт. Це можна пояснити тим, що перекристалізація осаду відбувається шляхом розчинення одних частинок та появи нових кристалів, а не за рахунок зміни структури вже існуючої фази. Доказом такого механізму утворення осаду карбонату кальцію може бути дослідження, що стосуються кінетики осадження кожної модифікації CaCO_3 за умов різних температур (Рис. 4 – 6).

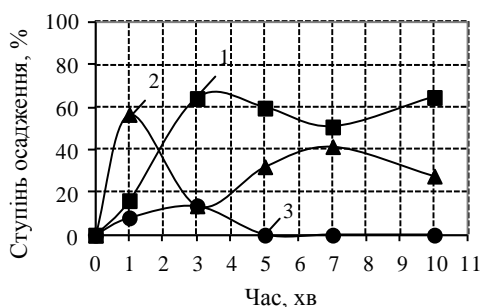


Рис. 4. – Залежність ступеня осадження фаз карбонату кальцію від часу при 323 К: 1 – кальцит; 2 – ватерит; 3 – арагоніт.

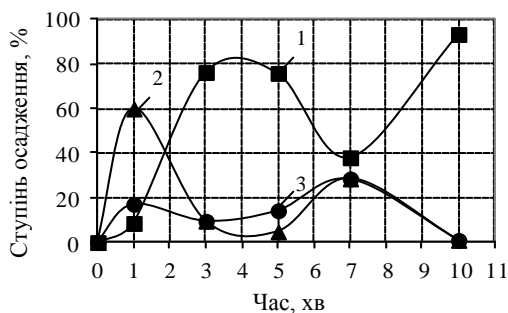
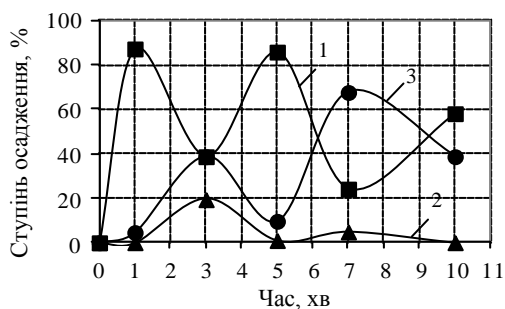


Рис. 5. – Залежність ступеня осадження фаз карбонату кальцію від часу при 343 К: 1 – кальцит; 2 – ватерит; 3 – арагоніт.



гоніт.

Рис. 6. – Залежність ступеня осадження фаз карбонату кальцію від часу при 363 К: 1 – кальцит; 2 – ватерит; 3 – арагоніт.

Результати досліджень вказують на те, що процес осадження карбонату кальцію з розчинів, в даному випадку, складається з двох етапів, межа яких на осі часу відповідає 5-ти хвилин. Причому, ці два етапи характерні для кожної кристалографічної форми CaCO_3 . Найбільш чітко це можна спостерігати по кінетичній кривій арагоніту. Дослідження довели, що арагоніт виступає самостійною фазою, яка не залежить від масової кількості інших модифікацій карбонату кальцію в осаді. Тобто, на вміст кристалів арагоніту впливають тільки технологічні параметри процесу осадження. Інші кристалічні форми CaCO_3 (кальцит і ватерит) мають взаємозалежність одна від одної, а також від температури і часу процесу утворення осаду карбонату кальцію.

Таким чином, на першій стадії процесу осадження карбонату кальцію відбувається одночасна кристалізація кальциту ватериту та арагоніту. Причому, швидкість кристалізації ватериту за умов температур 323 і 343 К практично в 3 рази перевищує швидкість утворення частинок кальциту та арагоніту. А при температурі 363 К масова кількість ватериту значно зменшується. Це пояснюється тим, що низькі температури у більшому ступені сприяють утворенню кристалів саме ватериту, що підтверджується даними аналітичного огляду літератури.

У ході подальшого осадження карбонату кальцію одночасно з кристалізацією відповідних фаз проходить процес перекристалізації. Так як взаємозалежними фазами є кальцит і ватерит, то відбувається часткове розчинення кристалів ватериту і утворення нових частинок кальциту. Характер кінетичних кривих яких показує (Рис. 4 – 6), що ступінь осадження ватериту поступово знижується, а ступінь осадження кальциту, навпаки, збільшується. Цей процес триває протягом 5 хвилин, після чого починається другий етап процесу осадження карбонату кальцію, який має схожий характер, але перетворення фаз відбувається в іншому напрямку.

Стосовно кристалів арагоніту було встановлено, що збільшення температури одержання карбонату кальцію призводить до поступового зростання масової кількості відповідної фази в осаді. Це відбувається як на першому, так і на другому етапі утворення CaCO_3 . Виключенням є другий етап процесу осадження карбонату кальцію при температурі 323 К (Рис. 4). Поясненням цього може бути перекристалізація арагоніту у ватерит, який схильний до утворення за умов низьких температур, і/або частково у кальцит.

При температурах 343 і 363 К кінетичні криві 3 (Рис. 5 та Рис. 6) вказують на збільшення ступеня осадження частинок арагоніту протягом часу як на пер-

шому, так і на другому етапі процесу осадження. Це можна пояснити тим, що за умов підвищених температур розчинність арагоніту значно зменшується, порівняно з розчинністю ватериту або, навіть, кальциту. Зроблене припущення справедливо, якщо допустити, що така взаєморозчинність різних кристалографічних модифікацій карбонату кальцію зберігається як у воді, так і у розчинах хлориду натрію.

Треба відзначити, що до складу всіх зразків карбонату кальцію, незалежно від умов процесу осадження, обов'язково входить певна кількість кристалів кальциту (Рис. 1 – 3). Поясненням цього може бути те, що кальцитова структура є найбільш стабільною порівняно з іншими модифікаціями CaCO_3 , а саме арагонітом та ватеритом.

У ході досліджень проводили мікроскопічний аналіз для встановлення залежності між розмірами і геометричною формою кристалів та основними властивостями осадів карбонату кальцію. Результати аналізу показали, що у всіх пробах CaCO_3 знаходиться у вигляді агломератів та поодиноких кристалів з різною геометричною формою і дисперсним складом. Значна частина агломератів складається з декілька частинок, які створюють деформований та механічно нестійкий ланцюг. Було з'ясовано, що використання підвищених температур сприяє осадженню більш дрібних кристалів CaCO_3 , схильних до агломерації. Це, в свою чергу, призводить до утворення осадів з низьким значенням насипної густини та більш розвинутою питомою поверхнею [7].

Проведені попередні дослідження дозволили встановити оптимальні параметри процесу осадження карбонату кальцію. В цьому випадку одержаний продукт матиме приблизно наступний фазовий склад, мас. %: кальцит – 50, арагоніт – 35, ватерит – 15. Розмір частинок становитиме від 0,02 до 0,05 мкм. Це свідчить про можливість утворення за даних умов високодисперсного хімічно осадженого карбонату кальцію, який може бути використаний в якості наповнювача у виробництві паперу, гуми та пластмас.

Висновки.

Таким чином, можна зробити висновок, що основні характеристики карбонату кальцію значною мірою залежать від фазового і дисперсного складу його осадів, на що, в свою чергу, впливають технологічні параметри процесу осадження CaCO_3 .

Підібравши відповідні умови, можливо одержати карбонат кальцію з певною структурою кристалів, що буде визначати сферу його застосування.

Список літератури

1. *Кац Г. С.* Наполнители для полимерных композиционных материалов / *Г. С. Кац, Д. В. Милевски.* – М.: Химия, 1981. – 736 с.
2. *Караваяев Т. А.* Перспективи ринку карбонатних наповнювачів в Україні / *Т. А. Караваяев, В. А. Свідерський* // *Товари і ринки.* – 2011. – № 2 – С. 18 – 26.
3. *Аршинников Д. І.* Дисперсність і морфологія природної крейди родовищ України / *Д. І. Аршинников, В. А. Свідерський* // *Scientific Journal «ScienceRise».* – 2015 – Т. 8, № 2 (13). – С. 18 – 21.
4. *Аршинников Д. І.* Дослідження фізико-хімічних властивостей поверхні осадкових крейд вітчизняних родовищ / *Д. І. Аршинников, В. А. Свідерський* // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий.* – 2015. – Т. 4, № 6 (76). – С. 17 – 22.
5. *Караваяев Т. А.* Естетичні властивості покриттів з водно-дисперсійних фарб / *Т. А. Караваяев, В. А. Свідерський* // *Товари і ринки.* – 2012. – № 2. – С. 181 – 190.
6. *Al-Omari M. M. H., Rashid I. S., Qinna N. A., Jaber A. M., Badwan A. A.* Calcium Carbonate. Profiles of Drug Substances, Excipients and Related Methodology, Vol. 41, Burlington, Academic Press, 2016, pp. 31 – 132.
7. *Mikhailova E. O., Panasenko V. O., Markova N. B.* Calcium carbonate synthesis with prescribed properties based on liquid waste of soda production. Odes'kyi Politechnichnyi Universytet. Pratsi, 2016, Iss. 2 (49), pp. 122 – 128.

References

1. *Kats G. S.* *Napolniteli dlya polimernykh kompozitsionnykh materialov* [Fillers for polymer composite materials]. Moscow, Khimiya, 1981, 736 p.
2. *Karavayev T. A., Svidersky V. A.* *Perspektyvy rynku karbonatnykh napovnyuvachiv v Ukrayini* [Prospects for carbonate filler market in Ukraine]. *Tovary i rynky* [Goods and markets], 2011, No 2, pp. 18 – 26.
3. *Arshynnikov D. I., Svidersky V. A.* *Dyspersnist i morfolohiya pryrodnoyi kreydy rodovyshch Ukrayiny* [Dispersity and morphology of natural chalk of deposits of Ukraine]. *Scientific Journal «ScienceRise»*, 2015, Vol. 8, No 2 (13), pp. 18 – 21.
4. *Arshynnikov D. I., Svidersky V. A.* *Doslidzhennya fizyko-khimichnykh vlastyvostry poverkhni osadovykh kreyd vitchyznyanykh rodovyshch* [Investigation of physical and chemical properties of the surface of sedimentary chalk of domestic deposits]. *Vostochno-Evropeysky zhurnal peredovykh tekhnolohyy* [East-European Journal of Advanced Technologies], 2015, Vol. 4, No 6 (76), pp. 17 – 22.
5. *Karavayev T. A., Svidersky V. A.* *Estetychni vlastyvosti pokryttiv z vodno-dyspersiynykh farb* [Aesthetic properties of coatings from water-disperse inks]. *Tovary i rynky* [Goods and Markets], 2012, No 2, pp. 181 – 190.
6. *Al-Omari M. M. H., Rashid I. S., Qinna N. A., Jaber A. M., Badwan A. A.* *Calcium Carbonate. Profiles of Drug Substances, Excipients and Related Methodology*, Vol. 41. Burlington, Academic Press, 2016, pp. 31 – 132.
7. *Mikhailova E. O., Panasenko V. O., Markova N. B.* Calcium carbonate synthesis with prescribed properties based on liquid waste of soda production. *Odes'kyi Politechnichnyi Universytet. Pratsi*, 2016, Iss. 2 (49), pp. 122 – 128.

Надійшла (received) 07.11.17.

Хімічне осадження карбонату кальцію різних кристалічних модифікацій / Є. О. Михайлова, М. О. Мороз, О. Л. Синческул // Вісник НТУ «ХПІ». – Серія : Хімія, хімічна технологія та екологія. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 48(1269)– С. 68 – 73. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-0821.

Химическое осаждение карбоната кальция разных кристаллографических модификаций / Е. А. Михайлова, Н. А. Мороз, А. Л. Синческул // Вісник НТУ «ХПІ». – Серія : Хімія, хімічна технологія та екологія. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 48(1269). – С. 48 – 73. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-0821.

Chemical precipitation of various crystalline modifications of calcium carbonate / E. O. Mykhaylova, M. O. Moroz, O. L. Sincheshkul // Bulletin of NTU “KhPI”. – Series : Chemistry, Chemical Engineering and Ecology. – Kharkov: NTU “KhPI”. – 2017. – No 48(1269). – P. 68 – 73. – Bibliogr.: 7 names. – ISSN 2079-0821.

Михайлова Євгенія Олександрівна – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, доцент кафедри природоохоронних технологій, екології та безпеки життєдіяльності; тел.: (066) 841–41–06; e-mail: mykhailova.e@ukr.net.

Михайлова Евгения Александровна – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнеця, доцент кафедры природоохранных технологий, экологии и безопасности жизнедеятельности; тел.: (066) 841–41–06; e-mail: mykhailova.e@ukr.net.

Mykhailova Evgeniya Oleksandrivna – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor, Simon Kuznets Kharkov National University of Economics, Associate Professor at the Department of Environmental Technologies, Ecology and Safety of Vital Activity; tel.: (066) 841–41–06; e-mail: mykhailova.e@ukr.net.

Мороз Микола Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, Український державний університет залізничного транспорту, доцент кафедри охорони праці та навколишнього середовища; тел.: (057) 730–10–56; e-mail: ssekret@ua.fm.

Мороз Николай Александрович – кандидат технических наук, доцент, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, доцент кафедры охраны труда и окружающей среды; тел.: (057) 730–10–56; e-mail: ssekret@ua.fm.

Moroz Mykola Oleksandrovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor, Ukrainian State University of Railway Transport, Associate Professor at the Department of Labor Safety and Environment; tel.: (057) 730–10–56; e-mail: ssekret@ua.fm.

Синческул Олександр Леонідович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри хімічної технології неорганічних речовин, каталізу та екології, тел.: (066) 989–98–61; e-mail: als-train@ukr.net.

Синческул Александр Леонидович – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший преподаватель кафедры химической технологии неорганических веществ, катализа и экологии; тел.: (066) 989–98–61; e-mail: als-train@ukr.net.

Sincheshkul Oleksandr Leonidovych – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, senior lecturer at the Department of Chemical Technology of Inorganic Substances, Catalysis and Ecology; tel.: (066) 989–98–61; e-mail: als-train@ukr.net.