

# РОЗДІЛ І

## Фізична хімія

УДК 541.182

**З. М. Яремко** – доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри безпеки життєдіяльності Львівського національного університету імені Івана Франка;  
**І. А. Мороз** – завідувач лабораторії кафедри фізичної та колоїдної хімії Волинського національного університету імені Лесі Українки

### **Вплив поверхнево-активних речовин на агрегативну стабільність водних суспензій карбонатів металів**

*Роботу виконано на кафедрі фізичної та колоїдної хімії ВНУ ім. Лесі Українки*

Досліджено вплив ПАР на агрегативно-деагрегативні процеси під час приготування суспензій основних карбонатів купруму та ніколу, карбонатів мангану і кобальту. Для регулювання агрегативної стабільності були використані промислові ПАР: неіоногенна TRITON X-100, катіонна HYAMINE 1622 та аніонна ATLAS G-3300. Одержані результати обговорюють у рамках моделі редиспергування порошків у рідких середовищах. Показано, що вплив ПАР на редиспергувальну здатність середовища залежить від дисперсності порошків, а саме зі збільшенням їхньої дисперсності (зменшенням розмірів частинок) вплив ПАР зменшується порівняно з водою. Адсорбція іоногенних ПАР ATLAS G-3300 та HYAMINE 1622 має суттєвий вплив на збереження досягнутого ступеня редиспергування порошків, а вплив неіоногенної ПАР TRITON X-100 на агрегативну стабільність суспензій усіх порошків є незначним і неоднозначним.

**Ключові слова:** редиспергування, агрегативна стабільність, суспензії, карбонати металів, поверхнево-активні речовини.

**Яремко З. М., Мороз І. А. Влияние поверхностно-активных веществ на агрегативную стабильность водных суспензий карбонатов металлов.** Исследовано влияние ПАВ на агрегативно-деагрегативные процессы во время приготовления суспензий основных карбонатов меди и никеля, карбонатов марганца и кобальта. Для регулирования агрегативной стабильности были использованы промышленные ПАВ: неионогенная TRITON X-100, катионная HYAMINE 1622 и анионная ATLAS G-3300. Полученные результаты обсуждают в рамках модели редиспергирования порошков в жидких средах. Показано, что влияние ПАВ на редиспергирующую способность среды зависит от дисперсности порошков, а именно с увеличением их дисперсности (уменьшением размеров частиц) влияние ПАВ уменьшается в сравнении с водой. Адсорбция ионогенных ПАВ ATLAS G-3300 и HYAMINE 1622 имеет существенное влияние на сохранение достигнутой степени редиспергирования порошков, а влияние неионогенного ПАВ TRITON X-100 на агрегативную стабильность суспензий всех порошков является незначительным и неоднозначным.

**Ключевые слова:** редиспергирование, агрегативная стабильность, суспензии, карбонаты металлов, поверхностно-активные вещества.

**Yaremko Z. M., Moroz I. A. The Effect of Surfactants on the Aggregate Stability of the Aqueous Suspensions of Metal Carbonates.** The effect of surfactants on aggregation-disaggregation processes during the preparation of the suspensions of basic copper and nickel carbonates and manganese and cobalt carbonates was investigated. Industrial surfactants such as non-ionogenic TRITON X-100, cationic HYAMINE 1622 and anionic ATLAS G-3300 were used to regulate the aggregate stability of the aqueous suspensions. Obtained results are discussed within the framework of the model of the powder re-dispersion in liquid media. It was shown that the effect of surfactants on the re-dispersion ability of the medium depends on the powder dispersity degree, namely that the increase of the powder dispersity (smaller particle size) lowers the effect of surfactants compared to water. The absorption of the ionogenic surfactants ATLAS G-3300 and HYAMINE 1622 has a substantial effect on the preservation of the achieved powder re-dispersion degree. The effect of the non-ionogenic surfactant TRITON X-100 on the aggregate stability of the suspensions of all powders is minor and varied.

**Key words:** re-dispersion, aggregate stability, suspensions, metal carbonates, surfactants.

**Постановка наукової проблеми та її значення. Аналіз останніх досліджень із цієї проблеми.**

У сучасних умовах існує постійна потреба у створенні нових матеріалів із властивостями та структурою, які не притаманні для природних матеріалів. До таких матеріалів відносять функціональну кераміку, для синтезу якої використовують порошки оксидів, гідроксидів та карбонатів металів [1]. Властивості готової кераміки, зокрема ступінь відтворення її властивостей, суттєво залежать від параметрів дисперсних систем, що виникають під час приготування формувальних керамічних мас [2; 3]. Властивості дисперсних систем зумовлені інтенсивністю міжчастинкової взаємодії, яку найефективніше можна регулювати за допомогою добавок ПАР різної природи [4]. Питання впливу ПАР на агрегативну стабільність суспензій дискутується давно, але підвищення вимог до функціональної кераміки зумовлює пошук нових технологічних рішень для їхнього досягнення та підтримує постійний науковий інтерес до цього питання. В основному досліджують суспензії оксидів металів (діоксиду титану, оксиду алюмінію, оксиду кремнію), а вплив ПАР на колоїдні властивості суспензій карбонатів металів вивчався недостатньо. Тому в цій роботі обговорюють результати дослідження впливу неіоногенної ПАР TRITON X-100, аніонної ПАР ATLAS G-3300 і катіонної NYAMINE 1622 на агрегативну стабільність водних суспензій карбонатів. Вибір цих ПАР зумовлений їхньою різною хімічною природою, яка спричиняє відмінності у регулюванні міжчастинкової взаємодії у суспензіях.

**Матеріали і методи.** Суспензії порошків основних карбонатів ніколу  $(\text{NiOH})_2\text{CO}_3$ , купрум (CuOH) $_2\text{CO}_3$  та карбонатів мангану  $\text{MnCO}_3$ , кобальту  $\text{CoCO}_3$  готували шляхом унесення наважки порошків ( $2,5 \text{ г/дм}^3$ ) у водні розчини вищезгаданих ПАР різної концентрації в межах від  $1,6 \cdot 10^{-4}$  моль/л до  $5,7 \cdot 10^{-3}$  моль/л із наступним механічним перемішуванням суспензій протягом 2 год. Розчини TRITON X-100, ATLAS G-3300, NYAMINE 1622 із відповідною концентрацією поверхнево-активної речовини готували розчиненням обрахованої кількості речовини у бідистильованій воді без додаткового очищення. Розміри первинних частинок порошків визначали електронномікроскопічно (прилад "Gemini DSM 289", Zeiss, Німеччина). Радіус первинних частинок для  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$  дорівнював  $2,6 \pm 0,2$  мкм, для  $\text{MnCO}_3$  –  $1,6 \pm 0,1$  мкм, для  $(\text{NiOH})_2\text{CO}_3$  –  $0,2 \pm 0,04$  мкм і для  $\text{CoCO}_3$  –  $0,1 \pm 0,02$  мкм.

Для вивчення колоїдно-хімічних властивостей суспензій використовували оптичний метод дослідження [5]. Оптичну густину суспензій визначали, використовуючи спектрофлюориметр CM-2203 із довжиною хвилі 530 нм. Похибка експериментальних вимірів складала близько 1%. Дослідження проводили для температури  $298 \pm 1$  К.

**Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.**

Редиспергувальну здатність середовища різної хімічної природи оцінювали за показником кількості первинних частинок в агрегатах  $P_n$ . Цей показник розраховували, виходячи з експериментально знайденої початкової оптичної густини суспензій

$$P_n = \frac{\rho [\exp(-2,3D_l) - \exp(-2,3D_s)]}{Ch} = nk_3V_0 + \frac{k_4}{(nV_0)^{1/3}}, \quad (1)$$

де  $D_l$  – оптична густина дисперсійного середовища над осадом суспензій,  $D_s$  – початкова оптична густина суспензій,  $\rho$  – густина речовини досліджуваних порошків,  $C$  – масово-об'ємна концентрація суспензій,  $h$  – товщина шару суспензій,  $k_3$ ,  $k_4$  – константи, які залежать тільки від хімічної природи порошків,  $n$  – кількість первинних частинок в агрегатах,  $V_0$  – об'єм первинної частинки.

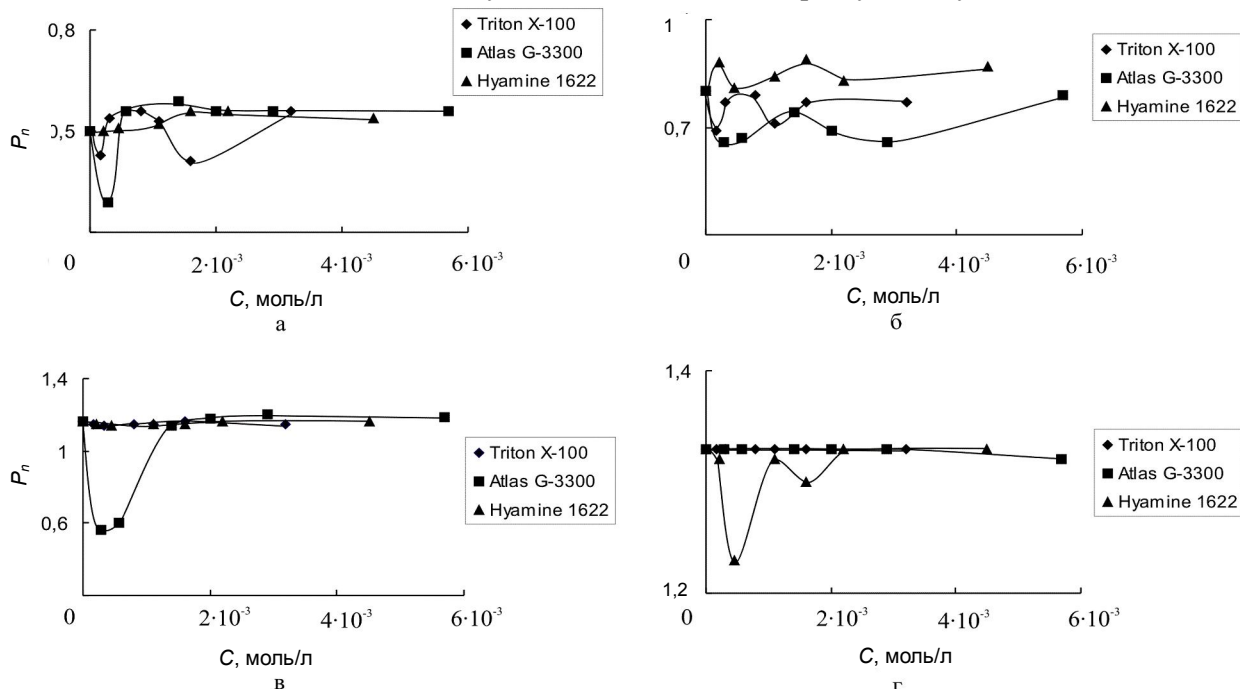
Оскільки для порошків однієї природи константи  $k_3$  та  $k_4$  та об'єм первинних частинок  $V_0$ , які містяться у правій частині рівняння, є постійними, то кількість первинних частинок  $n$  у їхніх агрегатах однозначно залежить від величини  $P_n$ . Чим більшою є величина  $P_n$  для порошків однієї природи, тим менше первинних частинок міститься в агрегатах і тим більшою є редиспергувальна здатність середовища (рис. 1). Також оцінювали агрегативну стабільність суспензій за кінетикою седиментації частинок у гравітаційному полі, розраховуючи діаметр частинок за методикою [7] (рис. 2).

Високодисперсні порошки на повітрі внаслідок дії далекосяжних поверхневих сил перебувають в агрегованому стані [8]. Порошки на повітрі утворюють зернисті структури з порами різних розмірів. Для зернистих структур із діаметром частинок  $d$  емпіричним шляхом встановлено, що середній радіус пор дорівнює  $d_0 = 0,42d$  [9], а результати комп'ютерного моделювання з урахуванням полідисперсності пор дають таке співвідношення  $d_0 = 0,255d$  [10].

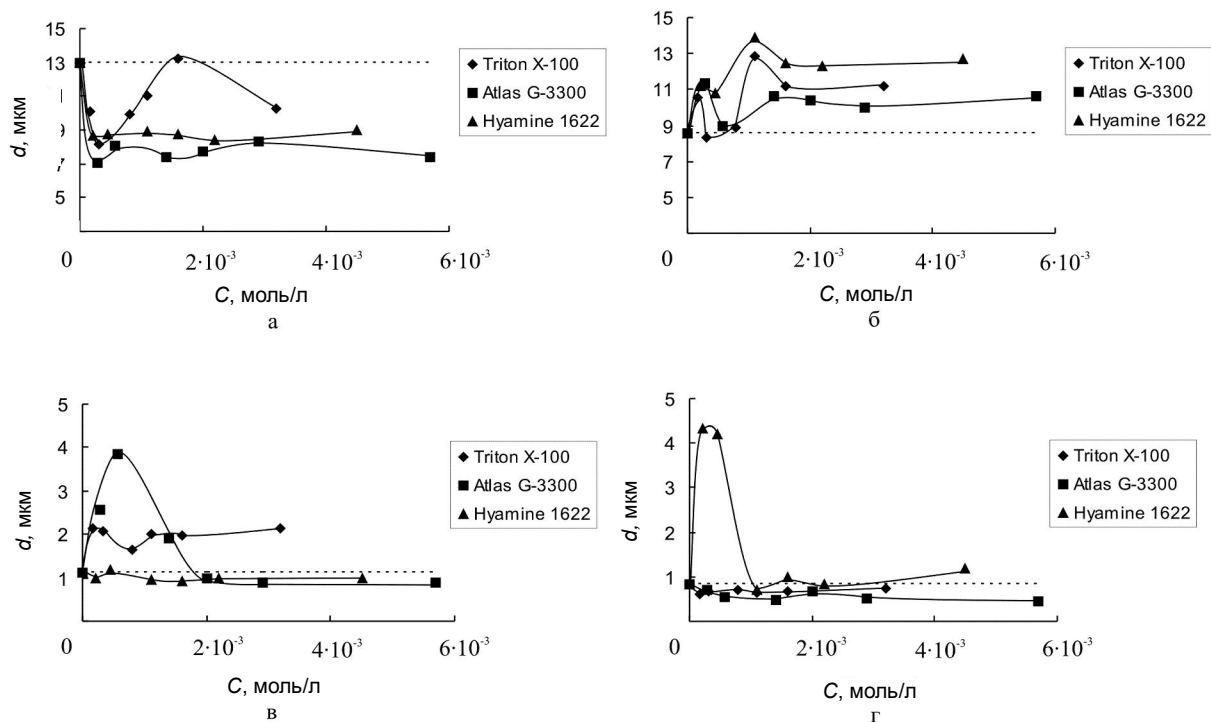
Взаємодія рідини із пористими структурами розпочинається зі змочування твердої поверхні, розтікання рідини по поверхні та її проникнення у пори. Тому першою необхідною умовою самовільного проникнення рідини у пори під дією капілярних сил є змочування рідиною твердої поверхні, тобто кут змочування  $\theta < 90^\circ$  [11].

Тому під час приготування суспензій у розчинах ПАР можуть відбуватися два одночасних процеси:

- редиспергування порошоків у розчинах ПАР, тобто руйнування агрегатів частинок, які існують на повітрі, у результаті змочування та дії зовнішньої механічної сили;
- адсорбція молекул ПАР на поверхні частинок, унаслідок якої може змінюватися характер міжчастинкової взаємодії і відбуватися стабілізація або флокуляція суспензій.



**Рис. 1.** Залежність показника кількості первинних частинок в агрегатах  $P_n$  від концентрації ПАР для суспензій основного карбонату купруму (а), карбонату мангану (б), основного карбонату ніколу (в), карбонату кобальту (г)



**Рис. 2.** Залежність діаметра частинок  $d$  від концентрації ПАР для суспензій основного карбонату купруму (а), карбонату мангану (б), основного карбонату ніколу (в), карбонату кобальту (г)

Окрім того, під час проведення седиментаційного аналізу агрегативно-нестабільних суспензій може відбуватися повторне агрегування частинок, яке спричиняє зменшення ступеня агрегування досягнутого під час перемішування суспензії.

У першому процесі – редиспергуванні порошків у рідинах – можна виділити дві послідовні стадії:

- розтікання рідини по поверхні порошків та утворення областей замкненого повітря між частинками;
- просочування рідини у замкнутих порах.

Течіння рідини у капілярах описує закон Пуазеля [11]:

$$Q = \frac{\pi \Delta P d_0^4 t}{8 \eta l}, \quad (2)$$

де  $Q$  – об'єм рідини, що заповнив капіляр до моменту часу  $t$ ,  $\eta$  – в'язкість рідини,  $d_0$ ,  $l$  – діаметр та довжина проникнення рідин у капіляри відповідно,  $\Delta P$  – перепад тисків на кінцях капіляра. Під час руху рідини у відкритих капілярах перепад тисків зумовлює різниця капілярного  $P_k$  та гідростатичного  $P_h$  тисків:

$$\Delta P = P_k - P_h = 4\sigma \cos \theta / d_0 - \rho g l \sin \alpha, \quad (3)$$

де  $\rho$  – густина рідини,  $g$  – прискорення сили земного тяжіння,  $\alpha$  – кут нахилу капіляра до горизонтальної площини.

Прийнявши, що

$$Q = \frac{\pi d_0^2}{4} l, \quad (4)$$

знаходимо швидкість переміщення рідини у капілярах:

$$\frac{dl}{dt} = \frac{d_0^2}{32\pi} (4\sigma \cos \theta / d_0 - \rho g l \sin \alpha). \quad (5)$$

У випадку, коли капілярний тиск  $P_k$  значно перевищує гідростатичний тиск  $P_h$ , тобто  $4\sigma \cos \theta / d_0 > \rho g l \sin \alpha$  (ця умова легко виконується для тонких капілярів, коли  $d_0 \rightarrow 0$ , та майже горизонтальних капілярів, коли  $\alpha \rightarrow 0$ ), рівняння (5) спрощується до

$$\frac{dl}{dt} = \frac{d_0 \sigma \cos \theta}{8\pi}. \quad (6)$$

Оскільки під час перемішування порошків переміщення рідини є рівномірним у всіх напрямках, то рух рідини в горизонтальних капілярах можна розглядати як процес її розтікання, який описують таким диференціальним рівнянням [12]:

$$\frac{d^2 l}{dt^2} + \frac{1}{l} \left( \frac{dl}{dt} \right)^2 + a \frac{dl}{dt} - \frac{b}{l} = 0, \quad (7)$$

де  $a = \frac{32\eta}{\rho d_0^2}$ ,  $b = \frac{4\sigma \cos \theta}{\rho d_0}$ ,  $\eta$ ,  $\rho$  – в'язкість та густина дисперсійного середовища відповідно,  $d_0$ ,  $l$  – діаметр та довжина проникнення рідин у капіляри відповідно,  $\sigma_{mz}$ ,  $\sigma_{mp}$ , – поверхневий натяг на межі тверде тіло – газ, тверде тіло – рідина,  $\theta$  – кут змочування.

Розв'язок цього рівняння має вигляд:

$$l^2 = \frac{2b}{a} \left( t + \frac{\exp(-at) - 1}{a} \right). \quad (8)$$

Як видно з рівняння (8), довжина проникнення рідини у капіляри за однакового часу та діаметра капілярів визначається співвідношенням параметрів  $b/a$  і параметром  $a$ . Для тонких капілярів параметр  $a$  набуває великі значення, тому другим членом у рівнянні (8) можна знехтувати й оцінювати швидкість проникнення рідини у пори за співвідношенням  $b/a$ , яке дорівнює:

$$\frac{b}{a} = \frac{d_0 \sigma \cos \theta}{\eta}. \quad (9)$$

За наявності пор різних розмірів унаслідок різниці швидкостей переміщення рідини в порах створюються сприятливі умови для утворення областей замкнутого повітря. Чим більша швидкість рідини у порах, тим більша ймовірність утворення таких областей замкнутого повітря і тим менший ступінь редиспергування.

Вплив ПАР на утворення областей замкнутого повітря можна оцінити за співвідношенням параметрів  $b/a$  для води  $(b/a)_w$  та розчинів ПАР  $(b/a)_s$ :

$$\frac{(b/a)_s}{(b/a)_w} = \frac{d_0 \sigma_s \cos \theta / \eta_s}{d_0 \sigma_w \cos \theta / \eta_w} \approx \frac{\sigma_s}{\sigma_w}, \quad (10)$$

де  $\sigma_w$ ,  $\sigma_s$  – поверхневий натяг для води та водних розчинів ПАР відповідно,  $\eta_w$ ,  $\eta_s$  – в'язкість води і водних розчинів ПАР відповідно (для дуже розбавлених розчинів ПАР ( $\eta_w \approx \eta_s$ )). Одержане співвідношення справедливе за умови повного змочування, тобто  $\theta = 0$ .

Співвідношення поверхневих натягів розчинів ПАР до поверхневого натягу води описують відомим рівнянням Шишковського [11]:

$$\frac{\sigma_s}{\sigma_w} = 1 - B \ln \left( 1 + \frac{C}{a} \right), \quad (10)$$

де  $C$  – концентрація ПАР у розчині,  $B$  і  $a$  – індивідуальні константи. Для багатьох ПАР, включаючи використані у дослідженнях, найменші значення поверхневих натягів перебувають у межах 26–36 мН/м [13], тому співвідношення  $\sigma_s/\sigma_w$  коливається в межах від 1 до 0,4. Таким чином, у розчинах ПАР швидкість переміщення рідини у відкритих порах може зменшуватися порівняно з водою від 1 до 2,5 раза. Зменшення швидкості переміщення рідини не сприяє утворенню областей замкнутого повітря, тобто сприяє кращому редиспергуванню. Величина цього впливу буде неоднаковою для досліджуваних порошків, оскільки швидкості переміщення рідини у відкритих порах цих порошків суттєво відрізняються між собою. Найбільша швидкість переміщення рідини у відкритих порах спостерігається для порошку  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ , для  $\text{MnCO}_3$  вона зменшується у – 1,6 раза порівняно з  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ , для  $(\text{NiOH})_2\text{CO}_3$  – у 13 разів і для  $\text{CoCO}_3$  – у 26 разів. Таким чином, слід очікувати, що добавки ПАР у водні суспензії найбільше сприятимуть редиспергуванню порошку  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ , а найменше –  $\text{CoCO}_3$ .

Після утворення замкнутих областей повітря рідина проникає у закриті пори. Відносну глибину проникнення рідини визначають за рівнянням [14]:

$$\frac{l}{L} = \frac{1}{1 + \frac{dP_0}{4\sigma \cos \theta}}, \quad (12)$$

де  $L$  – максимальна довжина капіляра,  $P_0$  – зовнішній тиск, який за звичайних умов дорівнює атмосферному. Як видно з рівняння (12), відносна глибина проникнення рідини у закриті пори зростає зі збільшенням поверхневого натягу. Вплив ПАР на глибину проникнення рідини у закриті пори можна оцінити за співвідношенням глибини проникнення розчинів ПАР  $l_s$  та води  $l_w$ :

$$\frac{l_s}{l_w} = \frac{\sigma_s}{\sigma_w} \cdot \frac{1 + 4\sigma_w/d_0P_0}{1 + 4\sigma_s/d_0P_0}, \quad (13)$$

де  $\sigma_w$ ,  $\sigma_s$  – поверхневий натяг для води та водних розчинів ПАР відповідно. Одержане співвідношення справедливе за умови повного змочування, тобто  $\theta = 0$ . Для тонких капілярів за умови, що  $4\sigma/d_0P_0 \gg 1$ , маємо, що ПАР не впливає на проникнення рідини у закриті пори, оскільки

$$\frac{l_s}{l_w} \approx 1. \quad (14)$$

У випадку грубих капілярів, де  $4\sigma/d_0P_0 \ll 1$ , глибина проникнення є прямо пропорційною поверхневому натягу і

$$\frac{l_s}{l_w} \approx \frac{\sigma_s}{\sigma_w}. \quad (15)$$

Таким чином, відносна глибина проникнення рідини у закриті капіляри на другій стадії редиспергування під впливом ПАР може зменшуватись у порівнянні з водою у межах від 1 до 2,5 раза. Зменшення глибини проникнення рідини у закриті пори не сприяє руйнуванню агрегатів, тобто понижує ступінь редиспергування.

Сукупний вплив ПАР на редиспергування порошоків на обох стадіях залежить від розміру пор, тобто від дисперсності порошоків. Проведений аналіз показує, що для тонкодисперсних порошоків  $(\text{NiOH})_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CoCO}_3$  сукупний вплив ПАР на їхнє редиспергування є незначним, оскільки на першій стадії швидкість переміщення рідини у відкритих порах є найнижчою, відповідно у 13 та 26 разів меншою порівняно з  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ , а на другій стадії відношення ступенів проникнення рідини у закриті пори  $l_s/l_w$  для цих порошоків є близьким до 1 (для  $\text{CoCO}_3$   $l_s/l_w \approx 0,98$ , а для  $(\text{NiOH})_2\text{CO}_3$   $l_s/l_w \approx 0,96$ ). Для грубодисперсних порошоків  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$  та  $\text{MnCO}_3$  на першій стадії редиспергування ПАР сприяє редиспергуванню, причому для  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$  це сприяння є найбільшим. На другій стадії ПАР не сприяє редиспергуванню цих порошоків, бо глибина проникнення рідини у закриті пори у розчинах ПАР зменшується порівняно з водою для  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$  до  $l_s/l_w \approx 0,53$ , а для  $\text{MnCO}_3$  – до  $l_s/l_w \approx 0,78$ . Отже, сукупний вплив ПАР на редиспергування грубодисперсних порошоків  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$  та  $\text{MnCO}_3$  є суттєвішим порівняно з порошками  $(\text{NiOH})_2\text{CO}_3$  і  $\text{CoCO}_3$ .

Але поряд із редиспергуванням порошку в розчинах ПАР відбувається адсорбція молекул ПАР на твердій поверхні, яка може змінювати характер міжчастинкової взаємодії і зумовлювати широкий спектр дії ПАР на водні суспензії від стабілізації частинок до їхньої флокуляції. У разі повної стабілізації частинок унаслідок адсорбції ПАР фактично зберігається той ступінь редиспергування, який може бути досягнутим у першому процесі редиспергування. Флокуляція частинок унаслідок адсорбції ПАР практично повертає частинки в агрегований стан, який є подібним до стану порошоків на повітрі. У реальних суспензіях дуже часто трапляється проміжний стан між повною стабілізацією та флокуляцією, який характеризується суттєвою лабільністю (мінливістю).

Стабілізуючу дію ПАР у порівнянні з водними суспензіями можна оцінити за співвідношенням кількості первинних частинок у агрегатах у воді  $n_w$  і в розчині ПАР  $n_s$ , яке можна оцінити за показником кількості первинних частинок у їхніх агрегатах  $P_n$  [6]:

$$\frac{n_w}{n_s} = \left( \frac{P_{ns}}{P_{nw}} \right)^3, \quad (16)$$

де  $n_s$  та  $n_w$  – кількість первинних частинок в агрегатах у розчинах ПАР та у воді,  $P_{ns}$  і  $P_{nw}$  – показники кількості первинних частинок у їхніх агрегатах у розчинах ПАР та у воді відповідно. Одержані результати наведено на рис. 3.

Якщо співвідношення  $n_w/n_s$  є більшим за 1, ПАР сприяє редиспергуванню порошоків та стабілізації частинок у суспензіях, оскільки  $n_s < n_w$ . Якщо співвідношення  $n_w/n_s$  є меншим від 1, то ПАР не сприяє редиспергуванню, а якщо і сприяє, то внаслідок їхньої адсорбції на частинках викликає флокуляцію суспензій і  $n_s > n_w$ . Редиспергувальну та стабілізуювальну дію ПАР відображають також розміри частинок, знайдені седиментаційним методом (рис. 2).

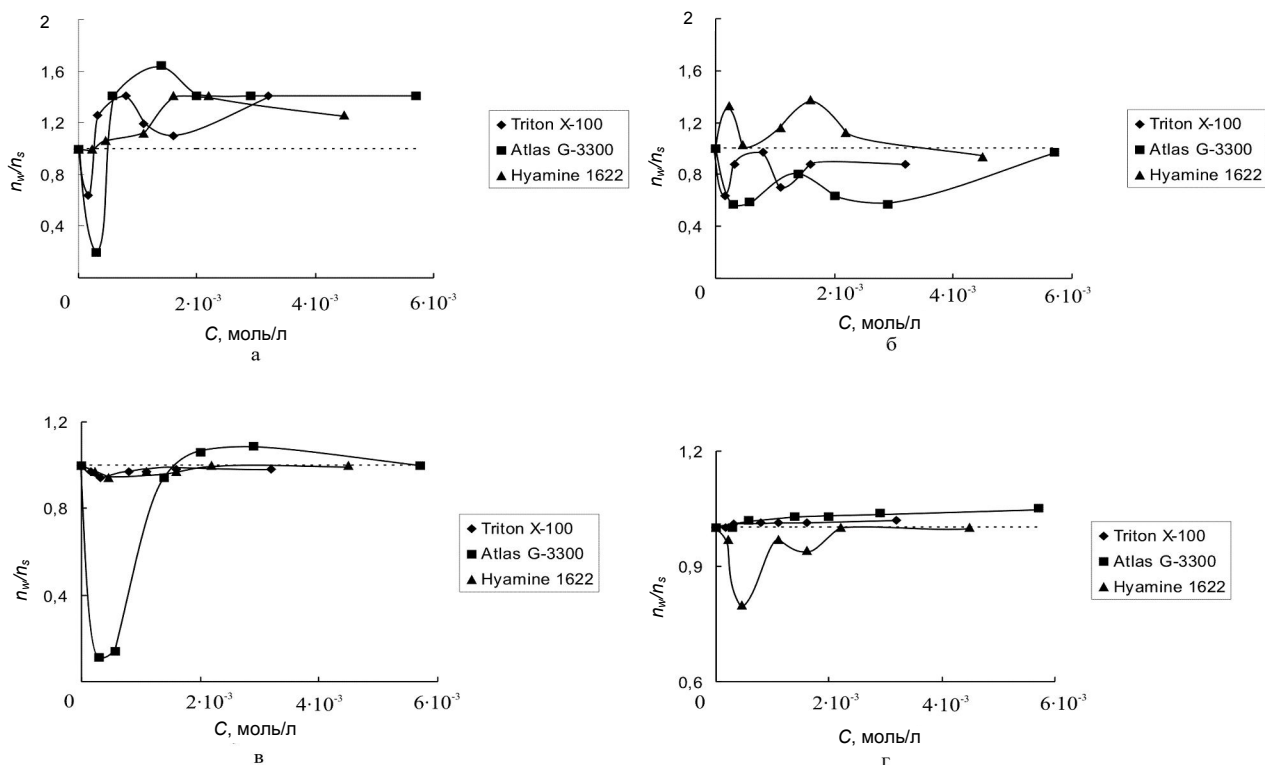
Якщо ПАР сприяє редиспергуванню порошоків та стабілізації суспензій, то результати, одержані двома незалежними методами за коефіцієнтом кількості первинних частинок в агрегатах  $P_n$  та за діаметром частинок  $d$ , добре узгоджуються між собою, а саме зменшення діаметра частинок  $d$  у розчинах ПАР відповідає збільшенню співвідношення  $n_w/n_s$ , тобто кількості первинних частинок в агрегатах у розчинах ПАР зменшується порівняно з водними суспензіями.

Усі ПАР (TRITON X-100, ATLAS G-3300 та NYAMINE 1622) в області концентрацій, вищих від 0,001 моль/л, сприяють стабілізації водних суспензій порошку  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ , і діаметр частинок зменшується у порівнянні з водою майже у 2 рази, співвідношення  $n_w/n_s$  зростає у 1,5 раза.

Для суспензій порошку  $\text{MnCO}_3$  у розчинах ПАР, навпаки, спостерігається погіршення агрегативної стабільності для всіх досліджуваних ПАР, хоча зниження ступеня редиспергування спостерігається тільки для ATLAS G-3300 та TRITON X-100. Для NYAMINE 1622 діаметр частинок і співвідношення  $n_w/n_s$  є більшими, ніж у воді.

Суспензії порошку  $(\text{NiOH})_2\text{CO}_3$  стабілізуються тільки іонними ПАР (ATLAS G-3300 та NYAMINE 1622). У розчинах NYAMINE 1622 зі збільшенням концентрації ПАР стабільність суспензій поступово зростає, а в розчинах ATLAS G-3300 для невисоких концентрацій близько

$5,7 \cdot 10^{-4}$  моль/л спостерігається інтенсивна агрегація частинок і їхній діаметр збільшується майже у 4 рази порівняно з водою. TRITON X-100 викликає пониження агрегативної стабільності цих суспензій для всіх концентрацій ПАР.



**Рис. 3.** Залежність співвідношення  $n_w/n_s$  від концентрації ПАР для суспензій основного карбонату купруму (а), карбонату мангану (б), основного карбонату ніколу (в), карбонату кобальту (г)

Суспензії порошку  $\text{CoCO}_3$  ефективно стабілізуються тільки в розчинах ATLAS G-3300 для всіх концентрацій ПАР. Невеликі концентрації HYAMINE 1622 близько  $2,2 \cdot 10^{-4}$  моль/л викликають різке пониження агрегативної стабільності суспензій, а високі концентрації ( $C > 1,6 \cdot 10^{-3}$  моль/л) забезпечують покращення агрегативної стабільності. TRITON X-100 майже не впливає на агрегативну стабільність суспензій  $\text{CoCO}_3$ .

### Висновки

Проведені дослідження агрегативної стабільності водних суспензій основних карбонатів купруму і ніколу та карбонатів мангану та кобальту у розчинах ПАР (TRITON X-100, ATLAS G-3300 і HYAMINE 1622) показали, що:

- вплив ПАР на редиспергувальну здатність середовища на обох стадіях редиспергування: переміщення рідини у відкритих порах та її проникнення у закриті пори залежить від дисперсності порошоків (розмірів пор, які існують у них); для грубодисперсних порошоків  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$  та  $\text{MnCO}_3$  сукупний вплив ПАР на ступінь редиспергування є значно суттєвішим порівняно з тонкодисперсними порошками  $(\text{NiOH})_2\text{CO}_3$  та  $\text{CoCO}_3$ ;
- якщо адсорбція молекул ПАР на дисперсних частинках сприяє стабілізації суспензій та збереженню досягнутого ступеня редиспергування, то коефіцієнт кількості первинних частинок у агрегатах  $P_n$  та діаметр частинок  $d$  добре узгоджуються між собою для високих концентрацій іоногенних ПАР ATLAS G-3300 та HYAMINE 1622 для порошоків  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ ,  $(\text{NiOH})_2\text{CO}_3$  і  $\text{CoCO}_3$ , а саме зі зменшенням діаметра частинок зростає співвідношення  $n_w/n_s$  у розчинах ПАР порівняно з водою;
- якщо адсорбція молекул ПАР на дисперсних частинках викликає флокуляцію суспензій та приводить до нижчого ступеня редиспергування частинок у порівнянні з водою, то коефіцієнт кількості первинних частинок в агрегатах  $P_n$  і діаметра частинок  $d$  для низьких концентрацій іоногенних ПАР ATLAS G-3300 та HYAMINE 1622 для порошоків  $(\text{NiOH})_2\text{CO}_3$  і  $\text{CoCO}_3$  та для ATLAS G-3300 і TRITON X-100 для порошку  $\text{MnCO}_3$  добре узгоджуються між

собою, а саме: зі збільшенням діаметра частинок зменшується співвідношення  $n_w/n_s$  у розчинах ПАР порівняно з водою;

- якщо адсорбція ПАР не впливає (мало впливає) на агрегативну стабільність суспензій і досягнутий ступінь редиспергування порошоків зменшується через агрегацію частинок під час седиментаційного аналізу, то коефіцієнт кількості первинних частинок в агрегатах  $P_n$  та діаметр частинок  $d$  для низьких концентрацій усіх ПАР для порошку  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$  і для NYAMINE 1622 для порошку  $\text{MnCO}_3$  не узгоджуються між собою, а саме: зі збільшенням (зменшенням) діаметра частинок збільшується (зменшується) співвідношення  $n_w/n_s$  у розчинах ПАР порівняно з водою.

#### Література

1. Bansal N. P. Handbook of Ceramic Composites.– Berlin; New York: Springer-Verlag, 2005.– 398 p.
2. Rahaman M. N. Ceramic Processing.– New York: CRC Press, 2006.– 480 p.
3. Powder Technology. Fundamentals of Particles, Powder Beds and Particle Generation / Eds. H. Masuda, K. Higashitani, H. Yoshida.– New York: CRC Press, 2006.– 521 p.
4. Tardos T. F. Applied Surfactants: Principles and Applications.– New York: Wiley-VCH, 2006.– 634 p.
5. Ходаков Т. С., Юдкин Ю. П. Седиментационный анализ высокодисперсных систем.– М.: Химия, 1981.– 192 с.
6. Яремко З. М., Федущинська Л. Б., Кукіль О. І. Редиспергування порошоків оксиду алюмінію і діоксиду титану в середовищах різної хімічної природи // Питання хімії і хімічної технології.– 2004.– № 3.– С. 144–148.
7. Расчет дисперсионного состава суспензий по данным седиментационного анализа / З. М. Яремко, М. М. Солтыс, Л. Б. Федущинская, В. Д. Гаврылив // Укр. хим. журн.– 1982.– Т. 48.– № 6.– С. 589–592.
8. Redispersion of  $\text{TiO}_2$  particles in aqueous solutions / Z. M. Yaremko, N. H. Tkachenko, C. Bellmann, A. Pich // J. Colloid and Interface Sci.– 2006.– Vol. 296.– № 2.– P. 565–571.
9. Крючков Ю. Н. Параметры пористой структуры пористых материалов. 2. Моно- и полидисперсные материалы // Коллоидн. журн.– 1998.– Т. 60.– С. 357–360.
10. Ronault Y., Assouline S. A. Probabilistic approach towards modeling the relationships between particle and pore size distributions: the multicomponent packed sphere case // Powder Technology.– 1999.– Vol. 96.– P. 33–41.
11. Адамсон А. Физическая химия поверхностей.– М.: Мир, 1979.– 568 с.
12. Аксельруд Г. А., Альтшулер М. А. Введение в капиллярно-химическую технологию.– М.: Химия, 1983.– 264 с.
13. Поверхностно-активные вещества: справочник / Под ред. А. А. Абрамзона и Г. В. Гаевого.– Л.: Химия, 1979.– 370 с.
14. Абрамец А. М., Лиштван И. И., Чураев Н. В. Массоперенос в природных дисперсных системах.– Минск: Навука і тэхніка, 1992.– 288 с.

#### Адреса для листування:

43025, Луцьк, просп. Волі, 13.

Ел. адреса: moroz@univer.lutsk.ua

Статтю подано до редколегії

24.04.2008 р.