

УДК 544.77

ВПЛИВ СПОСОБІВ ПРИГОТУВАННЯ СУСПЕНЗІЙ НА СТУПІНЬ РЕДИСПЕРГУВАННЯ ПОРОШКУ ДІОКСИДУ ТИТАНУ

З. Яремко*, Р. Петришин, Л. Федущинська

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Дорошенка, 41, 79000 Львів, Україна
e-mail: zuyaremko@lnu.edu.ua*

Розглянуто редиспергування порошку діоксиду титану під час приготування його водних суспензій шляхом механічного перемішування. В основу моделі руйнування просторової структури порошків, яка існує на повітрі, під час приготування його водних суспензій покладено процес поступового виходу зі складу агрегатів периферійних частинок, які найслабше зв'язані з ними, і досягнення рівноваги: агрегати \Leftrightarrow первинні частинки. Показано, що в процесі досягнення цієї рівноваги можуть виникати агломерати первинних частинок, які містять ділянки замкнутого повітря, розміри яких залежать від співвідношення інтенсивності послідовних процесів розтікання рідини по поверхні порошку й утворення ділянок замкнутого повітря та просочування рідини в утворені ділянки замкнутого повітря. Виникнення таких агломератів ускладнює міжчастинкову взаємодію і впливає на ступінь редиспергування порошків у рідинах. Виявлено, що додавання до суспензій поверхнево-активних речовин зумовлює зміни як у міжчастинковій взаємодії, так й у виникненні ділянок замкнутого повітря в проміжних агломератах частинок.

Ключові слова: водні суспензії, міжчастинкова взаємодія, редиспергування порошків, діоксид титану.

DOI: <https://doi.org/10.30970/vch.6102.414>

1. Вступ

Сьогодні обсяги високодисперсних порошків, які редиспергують у рідких середовищах під час технологічних процесів виготовлення нанокompозитів, постійно зростають. Сучасні нанотехнології підвищили вимоги до дисперсності технологічних порошків. Одержання якісних, однорідних за властивостями нанокompозитів може бути забезпечене тільки за умови досягнення рівномірного розподілу первинних частинок у їхньому об'ємі та повного руйнування агрегатів частинок, які існують у порошках на повітрі.

Далекосяжні поверхневі сили спричиняють утворення агрегатів дисперсних частинок на повітрі за умови, якщо їхній діаметр перебуває у межах

$$\text{від } d_{\min} = \frac{24H_0kT}{A} \text{ до } d_{\max} = \left(\frac{6kT}{\pi g \rho H_0} \right)^{1/3}, \quad (1)$$

де k – константа Больцмана; T – температура; A – константа Гамакера; g – прискорення сили земного тяжіння; ρ – густина речовини дисперсних частинок; H_0 – рівно-

важна відстань між частинками, яка внаслідок шороховатості поверхні може змінюватися від 0,2 до 1 нм [1]. З огляду на агрегованість високодисперсних порошків на повітрі актуальною стає проблема повного їхнього редиспергування у рідких середовищах під час технологічних процесів одержання нанокompatитів. Ступінь редиспергування порошків у рідких середовищах залежить від багатьох чинників, які впливають на характер та інтенсивність міжчастинкової взаємодії [2–4].

Серед технологічних порошків, які використовують у виготовленні різноманітних матеріалів, вагоме місце посідає діоксид титану рутильної модифікації [5–22]. Актуальними сьогодні залишаються дослідження процесів агрегування частинок пігментного діоксиду титану в його водних суспензіях за наявності електролітів, поверхнево-активних речовин та поліелектролітів [12–15]. Також досліджено агрегування наночастинок діоксиду титану у природних водах [16–19] у присутності мікроорганізмів [20–21] та в інших біологічних середовищах [22].

Мета нашої праці – оцінити вплив способу приготування водних суспензій на ступінь редиспергування порошку діоксиду титану за результатами кінетики їхнього осідання у гравітаційному полі.

2. Матеріали та методика експерименту

У дослідженнях використано порошок діоксиду титану рутильної модифікації (DuPont, США). Середній діаметр частинок за даними електронної мікроскопії 0,23 мкм (95 %) з питомою поверхнею, визначеною за методом BET 14,6 м²/г та розрахованою за середнім радіусом частинок 6 м²/г.

Для приготування суспензій діоксиду титану використано бідистильовану воду з питомою електропровідністю близько 0,25 мСм/м та водні розчини катіонної поверхнево-активної речовини Dinogam (Франція) з вмістом основної речовини N-алкіл-1,3-пропандіаміну (АПДА) 97 %. Загальна формула ПАВ – C_nH_{2n+1}NH(CH₂)₃NH₂, n = 10÷18. Молекулярна маса – 270 г/моль, ККМ = 2,50 ммоль/л.

Способи приготування суспензій наведено у таблиці, вибір концентрації АПДА та твердої фази ґрунтувався на результатах попередніх досліджень [23].

Способи приготування суспензій діоксиду титану

Опис способу приготування суспензій

1. Механічне перемішування 5 г порошку в 1 дм³ бідистильованої води впродовж 2 год.
2. Механічне перемішування 5 г порошку в 1 дм³ у розчині АПДА з концентрацією 2 ммоль/дм³ впродовж 2 год.
3. Механічне перемішування 5 г порошку в 1 дм³ у розчині АПДА з концентрацією 4 ммоль/дм³ впродовж 2 год.
4. Механічне перемішування 5 г порошку в 1 дм³ у розчині АПДА з концентрацією 4 ммоль/дм³ протягом 1 год і в розчині АПДА за концентрації 2 ммоль/дм³ впродовж 1 год.
5. Механічне перемішування 5 г порошку в 1 дм³ бідистильованої води протягом 1 год і в розчині АПДА за концентрації 2 ммоль/дм³ впродовж 1 год.

Механічне перемішування виконували у скляних круглодонних колбах об'ємом 100 см³ на мішалці з поступально-зворотнім рухом типу THYS 2. Для визначення розмірів агрегатів частинок та ступеня їхнього редиспергування експериментально досліджено кінетику осідання твердих частинок діоксиду титану у його водних суспензіях за зміною оптичної густини суспензії, яку вимірювали на концентраційному фотоколориметрі КФК-3.

3. Результати досліджень та їх обговорення

За кінетикою осідання суспензій, використовуючи методику кусково-гладкої апроксимації седиментаційної кривої, оцінено розміри агрегатів, які перебувають в седиментаційному осаді [24]. Одержані результати подано на рис. 1, *а*. Також виявлено, що осідання частинок суспензій відбувається не повністю і за кінцевою оптичною густиною суспензій оцінено повноту їхнього осадження (рис. 1, *б*).

Аналіз одержаних результатів проведено, керуючись наведеною на рис. 2 моделлю приготування суспензій через поступовий вихід периферійних частинок зі складу агрегатів та досягнення рівноваги: агрегати частинок \rightleftharpoons первинні частинки, що зумовлює наявність у седиментаційному осаді агрегатів частинок, а в завислому стані – первинних частинок [25].

Після внесення агрегованих на повітрі порошоків у рідке середовище відбуваються такі фізико-хімічні процеси:

- редиспергування частинок порошоків внаслідок дії механічних сил під час перемішування суспензій (руйнування агрегатів, які існують на повітрі);
- взаємодія компонентів рідкого середовища, зокрема, молекул води, іонів гідрогену, іонів низькомолекулярних електролітів, молекул поверхнево-активних речовин з поверхневими групами твердих частинок і досягнення нової міжфазної рівноваги;
- міжчастинкова взаємодія відповідно до зміни балансу далекодійних поверхневих сил унаслідок досягнення нової міжфазної рівноваги.

Ці фізико-хімічні процеси проходять у суспензіях одночасно, і кінцевий рівноважний стан, тобто ступінь редиспергування порошку, залежить від співвідношення їхньої інтенсивності.

Розглянемо детальніше перший із них – редиспергування. Вперше на можливість утворення ділянок замкнутого повітря, які не руйнуються під впливом капілярних сил і зумовлюють неповне редиспергування порошоків, зазначено у праці [26]. Ґрунтовніше редиспергування порошоків у рідинах розглянуто у праці [27] і показано, що воно проходить у два послідовні етапи:

- розтікання рідини по поверхні порошоків та утворення ділянок замкнутого повітря;
- просочування рідини у ділянці замкнутого повітря.

Можливість утворення ділянок замкнутого повітря під час редиспергування порошоків обґрунтовує теорія капілярного просмокування [28], згідно з якою швидкість капілярного просмокування рідини V пропорційна радіусу пор r_3

$$V = \frac{r_3 \sigma \cos \theta}{4\eta L}, \quad (2)$$

де σ і η – поверхневий натяг і в'язкість рідини; θ – динамічний кут змочування; L – довжина просмокування. Звичайно, що у випадково сформованій коагуляційній структурі порошоків, особливо за наявності первинної та вторинної субструктур, є

пори різних розмірів [29]. Швидкість переміщення рідини в порах згідно з (2) зростає зі збільшенням їхнього радіуса. Тому за наявності пор різних розмірів унаслідок неоднакової швидкості переміщення рідини у них створюються сприятливі умови для утворення ділянок захопленого повітря. Збільшення полідисперсності пор коагуляційної структури та швидкості переміщення рідини в них сприяє утворенню таких областей замкнутого повітря.

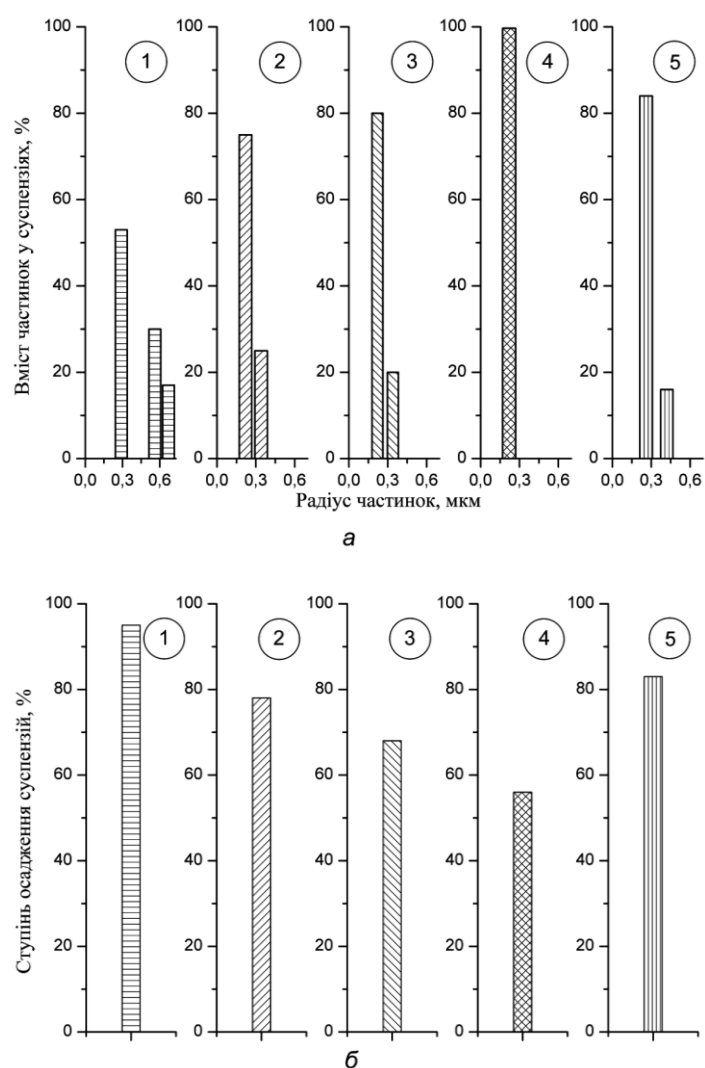


Рис. 1. Гістограми фракційного розподілу частинок діоксиду титану за розмірами (а) та повнота осадження суспензій (б) залежно від способів приготування суспензій, які описані в таблиці

Fig. 1. Histograms of the fractional distribution of titanium dioxide particles by size (a) and the completeness of suspension deposition (b) according to the methods of suspension preparation, which are described in the table

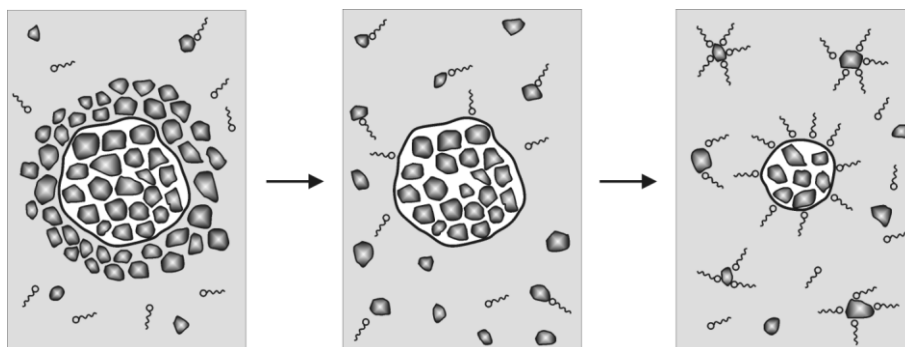


Рис. 2. Схема послідовного руйнування агрегатів частинок порошку в рідкому дисперсійному середовищі та досягнення рівноваги: агрегати частинок \Leftrightarrow первинні частинки

Fig. 2. A scheme of sequential destruction of aggregates of powder particles in a liquid dispersion medium and the establishment of the equilibrium: aggregates of particles \Leftrightarrow primary particles

Після виникнення ділянок замкнутого повітря рідина проникає в замкнуті пори під дією капілярних сил. Глибина цього проникнення може бути різною, відповідно з рівнянням [28]

$$\frac{L}{L_0} = \frac{1}{1 + (r_3 P / 2\sigma \cos \theta)}, \quad (3)$$

де L/L_0 – відносна глибина проникнення рідини у замкнуту пору довжиною L_0 ; r_3 – радіус пор; P – тиск у порах до просмоктування; σ – поверхневий натяг рідини; θ – динамічний кут змочування. Для зернистих структур еквівалентний радіус пор r_3 залежить від радіуса частинок порошку r і для випадкової укладки частинок він приблизно дорівнює [29]

$$r_3 = 0,315r. \quad (4)$$

Для однієї і тієї ж пористої структури вклад кожного з вищезазначених етапів має протилежний ефект через вплив поверхневого натягу рідини, тому кінцевий ступінь редиспергування порошоків залежить від їхнього кількісного співвідношення.

Як бачимо з наведених результатів на рис. 1, розподіл частинок за розмірами, їхня частка та повнота осадження суттєво залежать від способу приготування суспензій. Способи приготування вибрано так, щоб виявити вклад стадій редиспергування порошку діоксиду титану та міжчастинкової взаємодії на властивості одержаних суспензій.

У випадку бідистильованої води (перший спосіб) через значний поверхневий натяг води (72,4 мН/м) створюються сприятливі умови для утворення областей замкнутого повітря, що зумовлює появу у седиментаційному осаді рівноважних агрегатів трьох розмірів (рис. 1, а). Через низьку агрегативну стабільність таких суспензій рівновага: агрегати частинок \Leftrightarrow первинні частинки зміщена у сторону агрегатів частинок і ступінь осадження цієї суспензії є досить високим (рис. 1, б). Про наявність у агрегатах частинок ділянок замкнутого повітря свідчить також густина порошку, експериментально знайдена пікнометричним методом, яка дорівнює 3,6 г/см³ замість 4,2 г/см³ для масивного зразка. Цей факт підтверджує, що в утворених агрегатах міститься близько 15 % повітря.

У випадку приготування суспензій на основі водних розчинів поверхнево-активної речовини АПДА (2 і 3 спосіб) унаслідок зменшення поверхневого натягу рідини із 72,4 мН/м для дистильованої води до 50–45 мН/м для розчинів АПДА умови для утворення ділянок замкнутого повітря погіршуються і в седиментаційних осадах з'являються рівноважні агрегати тільки двох розмірів (рис. 1, а). Унаслідок адсорбції молекул АПДА на поверхні частинок та зростання їхнього поверхневого заряду агрегативна стабільність суспензій підвищується і рівновага: агрегати частинок \Leftrightarrow первинні частинки зміщується в сторону первинних частинок, які знаходяться у суспензії над седиментаційним осадом, і ступінь осадження суспензій зменшується (рис. 1, б).

У четвертому та п'ятому способах приготування суспензій зроблено спробу змінити величину поверхневого натягу рідкого середовища під час приготування суспензій і виявити можливі зміни у редиспергуванні порошків. У четвертому способі спочатку впродовж години перемішували у концентрованішому розчині АПДА (4 ммоль/дм³), а тоді шляхом розведення зменшували концентрацію АПДА до 2 ммоль/дм³ і перемішували ще годину. У цьому випадку на першому етапі були умови, які менше сприяли утворенню ділянок замкнутого повітря, а на другому, навпаки, умови, які сприяли проникненню рідини у капіляри і зменшенню ділянок замкнутого повітря. Як наслідок, отримана суспензія містить агрегати тільки одного розміру, а ступінь осадження виявився найнижчим (рис. 1). У п'ятому способі на першому етапі впродовж години перемішували у дистильованій воді, а тоді у розчині АПДА з концентрацією 2 ммоль/дм³. Отже, на першому етапі були умови, які сприяли утворенню ділянок замкнутого повітря, а на другому – умови, які сприяли їхньому зменшенню, унаслідок цього отримано суспензію, що за своїми характеристиками розташована між суспензіями, приготовленими четвертим та третім (другим) способами (рис. 1).

4. Висновки

Одержані результати та їх аналіз підтверджують вплив процесів приготування високодисперсних систем на основі порошку діоксиду титану на його редиспергування у водних суспензіях. Обґрунтовано, що досягнення рівноваги: агрегати частинок \Leftrightarrow первинні частинки під час приготування високодисперсних суспензій відбувається через утворення ділянок замкнутого повітря та їх наступного руйнування. Отже, рівноважні (кінцеві) дисперсні характеристики одержаних високодисперсних систем залежать від співвідношення інтенсивності таких процесів, як розтікання рідини по поверхні порошків та утворення ділянок замкнутого повітря і наступного просочування води у ділянці замкнутого повітря. Однак треба взяти до уваги, що роль цих процесів залежить від дисперсності первинних частинок та їх просторової структури на повітрі, тобто передісторії виготовлення порошків.

1. Yaremko Z. M., Nikipanchuk D. M., Fedushinskaya L. B., Uspenskaya I. G. Redispersion of Highly Disperse Powder of Titanium Dioxide in Aqueous Medium // *Colloid J.* 2001. Is. 63(2). P. 253–258. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1016602512104>
2. Kovalchuk N. M., Starov V. M. Aggregation in colloidal suspensions: Effect of colloidal forces and hydrodynamic interactions // *Adv. Colloid Interface Sci.* 2012. Vol. 179–182. P. 99–106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2011.05.009>
3. Chirone R., Raganati F., Ammendola P., Barletta D., Lettieri P., Poletto M. A comparison between interparticle forces estimated with direct powder shear testing and with sound assisted fluidization // *Powder Technol.* 2018. Vol. 323. P. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.09.038>
4. Yeap S. P. Permanent agglomerates in powdered nanoparticles: Formation and future prospects // *Powder Technol.* 2018. Vol. 323. P. 51–59. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.09.042>
5. *ZnO and TiO₂ based nanostructures* / ed. A. Lamberti. Basel: MDPI, 2018. 380 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/boors978-3-03897-014-9>
6. *Titanium dioxide: material for sustainable environment* / ed. D. Yang. London: InTechOpen, 2018. 518 p. DOI: <http://doi.org/10.5772/intechopen.70290>
7. *Application of titanium dioxide* / ed. M. Janus. Rijek: InTech, 2017. 240 p. DOI: <http://doi.org/10.5772/intechopen.70121>
8. Mahlalela L. C., Ngila J. C., Dlamini L. N. Characterization and stability of TiO₂ nanoparticles in industrial dye stuff effluent // *J. Dispersion Sci. Technol.* 2017. Vol. 38(4). P. 584–593. DOI: <http://doi.org/10.1080/01932691.2016.1183501>
9. Ogi T., Zuhijah R., Iwaki T., Okuyama K. Recent Progress in Nanoparticle Dispersion Using Bead Mill // *KONA Powder Part. J.* 2017. Vol. 34. P. 3–23. DOI: <http://doi.org/10.14356/kona.2017004>
10. Yang L., HuI Y. Toward TiO₂ Nanofluids – Part 1: Preparation and Properties // *Nanoscale Research Letters.* 2017. Vol. 12:417. DOI: <http://doi.org/10.1186/s11671-017-2184-8>
11. Yang L., HuI Y. Toward TiO₂ Nanofluids – Part 2: Applications and Challenges // *Nanoscale Research Letters.* 2017. Vol. 12:446. DOI: <http://doi.org/10.1186/s11671-017-2185-7>
12. Gustafsson J., Nordenswan E., Rosenholm J. B. Consolidation behavior in sedimentation of TiO₂ suspensions in the presence of electrolytes // *J. Colloid Interface Sci.* 2003. Vol. 258. P. 235–243. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0021-9797\(02\)00177-7](https://doi.org/10.1016/S0021-9797(02)00177-7)
13. Na-Young J., Jieun L., Jin K. S. et al. Preparation of an aqueous suspension of stabilized TiO₂ nanoparticles in primary particle form // *J. Nanosci. Nanotechnol.* 2013. Vol.13. P. 6153–6159. DOI: <https://doi.org/10.1166/jnn.2013.7637>
14. Yang Y.-J., Kelkar A. V., Zhu X. et al. Effect of sodium dodecylsulfate monomers and micelles on the stability of aqueous dispersions of titanium dioxide pigment nanoparticles against agglomeration and sedimentation // *J. Colloid Interface Sci.* 2015. Vol. 450. P. 434–445. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2015.02.051>
15. Karakaş F., Çelik M. S. Mechanism of TiO₂ stabilization by low molecular weight NaPAA in reference to water-borne paint suspensions // *Colloids Surf., A.* 2013. Vol. 434. P. 185–193. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2013.05.051>

16. *Du X., Wang X., You S.* et al. A case study of aggregation behaviors of titanium dioxide nanoparticles in the presence of dodecylbenzene sulfonate in natural water // *J. Environ. Sci.* 2015. Vol. 36. P. 84–92.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.05.011>
17. *Doyle J. J., Palumbo V., Huey B. D.* et al. Behavior of Titanium Dioxide Nanoparticles in Three Aqueous Media Samples: Agglomeration and Implications for Benthic Deposition // *Water Air Soil Pollut.* 2014. Vol. 225:2106.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-014-2106-7>
18. *Chekli L., Roy M., Tijing L. D.* et al. Agglomeration behaviour of titanium dioxide nanoparticles in river waters: A multi-method approach combining light scattering and field-flow fractionation techniques // *J. Environ. Manage.* 2015. Vol. 159. P. 135–142.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.05.011>
19. *Bouhaik I. S., Leroy P., Ollivier P.* et al. Influence of surface conductivity on the apparent zeta potential of TiO₂ nanoparticles: Application to the modeling of their aggregation kinetics // *J. Colloid and Interface Sci.* 2013. Vol. 406. P. 75–85.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2013.05.034>
20. *Pagnout C., Jomini S., Dadhwal M.* et al. Role of electrostatic interactions in the toxicity of titanium dioxide nanoparticles toward *Escherichia coli* // *Colloids Surf., B.* 2012. Vol. 92. P. 315–321. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2011.12.012>
21. *Planchon M., Ferrari R., Guyot F.* et al. Interaction between *Escherichia coli* and TiO₂ nanoparticles in natural and artificial waters // *Colloids Surf., B.* 2013. Vol. 102. P. 158–164. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2012.08.034>
22. *Nia M. H., Rezaei-Tavirani M., Nikoofar A. R., Masoumi H., Nasr R., Hasanzadeh H., Jadidi M., Shadnush M.* Stabilizing and dispersing methods of TiO₂ nanoparticles in biological studies // *J. Paramedical Sci.* 2015. Vol. 6. Is. 2. P. 96–105.
23. *Burka O., Fedushynska L., Yaremko Z., Soltys M.* Aggregative-sedimentation stability of titanium dioxide suspensions in binary solutions of polymetacrylic acid and surfactants // *Visnyk Lviv Univ. Ser. Chem.* 2012. Is. 53. P. 400–407 (in Ukrainian).
24. *Yaremko Z. M., Soltys M. N., Fedushinskaya L. B., Gavryliv V. D.* Calculation of dispersed composition of suspensions from data of sedimentation analysis // *Ukr. Khim. Zh.* 1982. Vol. 48, No. 6. P. 589–592.
25. *Yaremko Z., Fedushynska L., Petryshyn R.* Research of titanium dioxide particle aggregation decreasing its aqueous suspension // *Visnyk Lviv Univ. Ser. Chem.* 2016. Is. 57(2). P. 541–547 (in Ukrainian).
26. *Nikipanchuk D. M., Yaremko Z. M., Fedushinskaya L. B.* Interparticle interactions in the titanium dioxide dispersions // *Colloid J.* 1997. Is. 59(3). P. 324–328.
27. *Yaremko Z. M., Moroz I. A.* Re-dispersion of metal carbonate powders in dispersive media of various chemical nature // *Colloids Surf., A.* 2008. Is. 317(1). P. 186–193.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2007.10.010>
28. *Akselrud G. A., Altshuler M. A.* Introduction to the capillary-chemical technology. – Moscow: Science, 1983. – 264 p. (in Russian).
29. *Szafran M., Wisniewski P.* Effect of the bonding ceramic material on the size of pores in porous ceramic materials // *Colloids Surf., A.* 2001. Is. 179(1–3). P. 201–208.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(00\)00638-5](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(00)00638-5)

**THE INFLUENCE OF METHODS OF SUSPENSION PREPARATION ON THE
REDISPERSION DEGREE OF TITANIUM DIOXIDE POWDER****Z. Yaremko*, R. Petryshyn, L. Fedushynska***Ivan Franko National University of Lviv,
Doroshenko Str., 41, 79000 Lviv, Ukraine
e-mail: zyaremko@lnu.edu.ua*

The redispersion of titanium dioxide powder during the preparation of its aqueous suspensions by mechanical stirring has been considered. The model of the destruction of the spatial structure of powders, which exists in the air, during the preparation of its [titanium dioxide] aqueous suspensions is based on the process of gradual withdrawal of the peripheral particles from the compositional parts most closely associated with it and the establishment of the equilibrium: aggregates \leftrightarrow primary particles. Following the introduction of air-aggregated powders into the liquid environment, the following physicochemical processes occur, namely: a) the redispersion of the powder particles due to the action of mechanical forces during the stirring of suspensions (destruction of aggregates existing in air); b) the interaction of the components of the liquid medium, in particular hydrogen ions, ions of low molecular weight electrolytes, surfactant molecules with the surface groups of solid particles and the establishment of a new interfacial equilibrium; c) interparticle interaction related to the change in the balance of far-reaching surface forces due to the establishment of a new interphase equilibrium.

Five methods for preparing suspensions of titanium dioxide have been used to show that during their preparation, agglomerates of primary particles containing regions of closed air, the size of which depends on the ratio of the intensity of successive processes of fluid flow over the surface of the powder and the formation of areas of closed air and fluid percolation in the formed area of closed air, may occur. The appearance of such agglomerates complicates interparticle interaction and affects the degree of redispersion of powders in liquids. It has been revealed that the presence of surfactants in suspensions causes changes both in the interparticle interaction and in the occurrence of regions of closed air in the intermediate particle agglomerates.

Thus, the equilibrium dispersive characteristics of the obtained highly dispersed systems depend on the ratio of the intensity of such processes as the fluid flowing over the surface of the powders and the formation of areas of closed air and subsequent percolation of fluid in the area of closed air. However, it should be borne in mind that the role of these processes depends on the dispersion of the primary particles and their spatial structure in the air, i.e. the whole pre-history of how these powders have been manufactured.

Keywords: water suspension, interparticle interaction, powders aggregation, titanium dioxide.

Стаття надійшла до редколегії 30.10.2019
Прийнята до друку 14.01.2020