

Фізична хімія

УДК 544.7

ДЕЯКІ ПИТАННЯ РЕГУЛЮВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ: ВІД МІКРО ДО НАНО

З. Яремко*, Р. Петришин

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

У науковому доробку професора М. М. Солтиса із регулювання властивостей дисперсних систем можна виділити чотири головні питання: седиментаційний аналіз дисперсності як кількісна оцінка процесів регулювання властивостей дисперсних систем, адсорбція полімерів і низькомолекулярних поверхнево-активних речовин на твердій поверхні та міжчастинкова взаємодія у високодисперсних суспензіях, міжмолекулярна взаємодія у водних розчинах поліметакрилової кислоти та низькомолекулярних поверхнево-активних речовин, використання колоїдно-хімічного підходу до вивчення біологічних систем. Особливу увагу приділено тим питанням, які залишаються актуальними й сьогодні, а саме адсорбції поверхнево-активних речовин та поліелектролітів на твердій поверхні та одержанні нанокompозитних дисперсних систем із заданими властивостями.

Ключові слова: дисперсні системи, міжчастинкова взаємодія, міжмолекулярна взаємодія, поверхнево-активні речовини, поліметакрилова кислота.

DOI: <https://doi.org/10.30970/vch.6002.324>

1. Вступ

У цій праці зроблено спробу узагальнити результати наукових досліджень з питань регулювання властивостей дисперсних систем, які проведені під керівництвом Заслуженого професора Львівського національного університету імені Івана Франка Михайла Миколайовича Солтиса. У назві праці є слова “від мікро до нано”, оскільки в наукових дослідженнях професора М. М. Солтиса, які він активно проводив протягом другої половини ХХ ст., чітко простежується перехід від вивчення грубо- до тонкодисперсних систем, зокрема нанорозмірних. Деякі положення, які сьогодні очевидні й добре зрозумілі, тоді, у другій половині ХХ ст., були дискусійними й потребували наукового обґрунтування. Тому здебільшого саме досягнення класичної колоїдної хімії були підґрунтям подальшого розвитку досліджень у ділянці нанорозмірних об’єктів.

Майже в усіх наукових дослідженнях професора М. М. Солтиса наявні дві речі: суспензії та поліметакрилова кислота. Суспензії були різні: суспензії скла, люмінофорів, сульфідів та оксидів металів, зокрема діоксиду титану та оксиду алюмінію. Поліметакрилову кислоту разом з іншими поверхнево-активними речовинами у їхніх водних розчинах використано для регулювання властивостей цих суспензій.

У науковому доробку професора М. М. Солтиса з регулювання властивостей дисперсних систем можна виділити такі головні питання, як :

- ✓ обґрунтування методики седиментаційного аналізу дисперсності як кількісної оцінки процесів регулювання властивостей дисперсних систем;
- ✓ адсорбція полімерів і низькомолекулярних поверхнево-активних речовин на твердій поверхні та міжчастинкова взаємодія у високодисперсних суспензіях;
- ✓ міжмолекулярна взаємодія у водних розчинах поліметакрилової кислоти та низькомолекулярних поверхнево-активних речовин;
- ✓ використання колоїдно-хімічного підходу до вивчення біологічних систем.

2. Седиментаційний аналіз дисперсності як кількісна оцінка процесів регулювання властивостей дисперсних систем

Седиментаційний аналіз дисперсності є простим та доступним в експериментальному виконанні: передбачає вивчення кінетики осідання суспензій у гравітаційному полі. Подальший математичний опис процесу осідання допомагає визначити як розмір дисперсних частинок, так і їхній розподіл за розмірами. Достовірність одержаних результатів суттєво залежить від точності математичного опису експериментальної кривої осідання суспензій. Наявні на цей час методики, зокрема методика Авдєєва, давали задовільні результати для суспензій зі значною полідисперсністю. У разі зменшення полідисперсності суспензій вони ставали неточними, тому виникла необхідність пошуку нової методики. Необхідність таких досліджень зумовлено вимогами до суспензій люмінофорів, які використовували для одержання високоякісних люмінесцентних покриттів. Теоретично передбачено, що якісні люмінесцентні покриття можна одержати у разі формування щільних однорідних шарів люмінофорних частинок однакового розміру. Тому усі зусилля скеровано на одержання суспензій із вузьким розподілом люмінофорних частинок, а відтак виникла потреба удосконалення методу седиментаційного аналізу. Запропонована методика ґрунтувалася на кусочно-гладкій апроксимації експериментальної кривої осадження суспензій. Обґрунтування методики кусочно-гладкої апроксимації експериментальної кривої седиментації суспензій та інші особливості проведення седиментаційного аналізу дисперсності високодисперсних суспензій опубліковано у декількох статтях [1–6].

Запропоновану методику кусочно-гладкої апроксимації в седиментаційному аналізі використано у провідних наукових центрах, які проводили у 90-х роках ХХ ст. наукові дослідження з питань агрегативної стабільності суспензій [7–8].

У подальшому вдосконалену методику седиментаційного аналізу використано для визначення дисперсності високодисперсних суспензій, які містять агрегати первинних частинок, та ступеня агрегування дисперсних частинок у суспензіях [9–11]. Однак сьогодні залишається відкритим питання врахування зміни питомої густини частинок, які осідають під час проведення седиментаційного аналізу в складі агрегатів частинок.

3. Адсорбція полімерів і низькомолекулярних поверхнево-активних речовин на твердій поверхні та міжчастинкова взаємодія у високодисперсних суспензіях

Головним моментом у розвитку цього напрямку було обґрунтування схеми взаємодії твердих дисперсних частинок суспензій із макромолекулами та їхніми агрегатами. Згідно з цією схемою, поданою на рисунку, в адсорбційній системі одночасно можуть відбуватися такі три процеси:

- ✓ взаємодії макромолекул з твердими дисперсними частинками з утворенням їхніх агломератів (1–8);
- ✓ міжчастинкової взаємодії твердих дисперсних частинок (9) і (10);
- ✓ міжмолекулярної взаємодії макромолекул (11) і (12).

Результати дослідження цих процесів опубліковано у багатьох працях, серед них найголовніші [12–42].

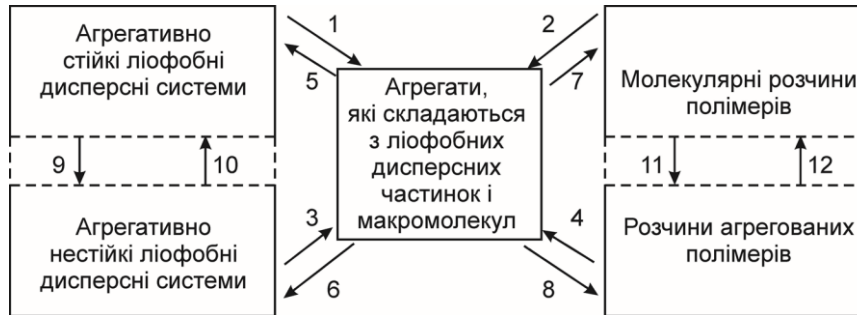


Рис. Схема взаємодії твердих дисперсних частинок між собою, макромолекулами та їхніми агрегатами

Fig. Scheme of interaction of solid disperse particles between themselves, macromolecules and their aggregates

Використовуючи системно-кібернетичний підхід, розвиток розглянутих вище процесів у часі описано системою диференціальних рівнянь:

$$\frac{dv_{kl}}{dt} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{n=0}^{n=l} K_{ijmn} v_{im} v_{jn} - \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} K_{iknl} v_{in} v_{kl} + \sum_{n=0}^{l=1} K_{knm} v_{kl} n_m - \sum_{m=1}^{\infty} K_{klm} v_{kl} n_m$$

$$\frac{dn_k}{dt} = \frac{1}{2} \sum_{j=k-1}^{k-1} K_{ij} n_i n_j - \sum_{i=1}^{\infty} K_{ik} n_i n_k - \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} K_{ink} v_{in} n_k,$$

де v_{kl} , v_{in} , v_{jm} , v_{kn} – концентрації різних агломератів твердих дисперсних частинок з адсорбованими макромолекулами (перші індекси k , i , j свідчать про кількість дисперсних частинок, другі l , n , m – кількість адсорбованих макромолекул, n_k , n_i , n_j – концентрації агрегатів макромолекул, які містять, відповідно, k , i , j окремих макромолекул; K_{ijmn} , K_{iknl} – константи, які характеризують швидкість коагуляції частинок i і j чи k розмірів за наявності на їхній поверхні n , m чи l адсорбованих макромолекул; K_{knm} , K_{klm} – константи, які характеризують швидкість адсорбції агрегатів макромолекул з m окремих макромолекул на різних агломератах, які складаються з k колоїдних частинок і n чи l макромолекул; K_{ij} , K_{ik} – константи, які характеризують швидкість агрегації макромолекул i -го і j -го чи k -го розмірів.

Розв'язати таку систему диференціальних рівнянь аналітичним способом не можна, проте застосування числових методів до її розв'язку дає можливість отримати цікаві результати. Для окремих частинних випадків отримано аналітичні залежності величини адсорбції полімерів G від параметрів адсорбційної системи:

$$G = \frac{MA}{4\pi a_1^2 N_A N_{10}},$$

де

$$A = \frac{1}{\beta} \ln \left[1 + \frac{\beta \gamma N_{20}}{4} \left(2 + \frac{a_1}{m^{1/3} a_{20}} + \frac{m^{1/3} a_{20}}{a_1} \right) \ln (1 + \tau^{-1} t) \right]$$

і M – молекулярна маса полімеру; N_A – число Авогадро; N_{10} – початкова концентрація твердих дисперсних частинок; A – кількість адсорбованих макромолекул в одиниці об'єму адсорбційної системи; N_{20} – кількість окремих макромолекул в одиниці об'єму адсорбційної системи; m – ступінь агрегації макромолекул; a_1 – радіус первинних твердих дисперсних частинок; a_{20} – радіус макромолекул; τ – час напівкоагуляції за Смолуховським; t – час адсорбції; β , γ – коефіцієнти, які характеризують індивідуальні властивості системи.

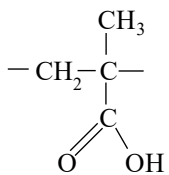
За результатами проведених досліджень, обґрунтовано:

- ✓ вплив вмісту твердих дисперсних частинок на величину адсорбції через агрегацію високодисперсних частинок адсорбенту та можливу появу максимуму на ізотермах адсорбції макромолекул на дисперсних адсорбентах;
- ✓ умови ефективної стабілізації дисперсного складу суспензій поліелектролітами та отримання систем із вузьким розподілом твердих частинок за розміром, що наближається до монодисперсної системи;
- ✓ умови ефективної флокуляції суспензій поліелектролітами через забезпечення наявності у системі частинок різного ступеня покриття макромолекулами.

Подальші дослідження високодисперсних систем з урахуванням визначених закономірностей міжчастинкової взаємодії допомогли обґрунтувати умови редиспергування високодисперсних порошків у водних суспензіях та одержання різноманітних дисперсних систем із заданими властивостями [43–74]. Залишається актуальним сьогодні питання врахування неоднорідностей твердої поверхні, її мозаїчності на межі розділу фаз, вивчення якого сприятиме вирішенню багатьох практичних задач.

4. Міжмолекулярна взаємодія у водних розчинах поліметакрилової кислоти та поверхнево-активних речовин

Макромолекула поліметакрилової кислоти (ПМАК) складається з елементарних ланок з молярною масою 86 г/моль



Макромолекули ПМАК у водних розчинах є добрим модельним об'єктом для вивчення впливу як кулонівської взаємодії внаслідок дисоціації карбоксильних груп –COOH, так і гідрофобної взаємодії через наявність гідрофобної групи –CH₃ на регулювання властивостей дисперсних систем на мікро- та нанорівнях.

Серед великої кількості поверхнево-активних речовин (ПАР) для досліджень вибрано представники неіонних, аніонних та катіонних ПАР, зокрема:

- ✓ нонілфеноксиполі(етокси)етанол C₉H₁₉C₆H₄O(CH₂CH₂O)₅H – неіонна ПАР з ККМ = 2,77 ммоль/л;
- ✓ лауретсульфат натрію C_nH_{2n+1}(OCH₂CH₂)₂OSO₃Na, де n = 12÷14, – аніонна ПАР з ККМ = 3,84 ммоль/л;
- ✓ N-алкіл-1,3-пропільдіамін C_nH_{2n+1}NH(CH₂)₃NH₂, де n = 10÷18, – катіонна ПАР з ККМ = 2,50 ммоль/л.

Методами потенціометрії, спектроскопії та віскозиметрії досліджено концентраційні залежності рН середовища, оптичної густини та в'язкості бінарних розчинів ПМАК з ПАР:

- ✓ вимірювання рН середовища проводили за допомогою рН-метра рН-150М зі скляними та хлорсрібними електродами з точністю ± 0,05;
- ✓ оптичні вимірювання проведено за допомогою фотоелектроколориметра КФК-3 для довжини хвилі 540 нм з точністю ± 0,001;
- ✓ відносну в'язкість розчинів визначали капілярним віскозиметром Убеллоде з точністю ± 1 %.

За результатами досліджень, які підсумовані у працях [75–85], обґрунтовано, що на розвиток асоціативних та агрегативних процесів у досліджуваних системах впливають як ефекти кулонівської, так і гідрофобної взаємодій, отже, визначено, що:

- ✓ критерієм визначення переважного вкладу кулонівської чи гідрофобної взаємодії у системі ПМАК–катіонна ПАР є максимум на залежності різниці рН індивідуальних розчинів ПАР та бінарних розчинів ПМАК–ПАР від логарифму добутку їхніх концентрацій;
- ✓ переважний вклад кулонівської чи гідрофобної взаємодії у системі ПМАК–аніонна ПАР визначає максимум на залежності різниці рН бінарних розчинів ПМАК–ПАР та індивідуальних розчинів ПМАК від концентрації ПМАК;
- ✓ переважний вклад кулонівської чи гідрофобної взаємодії у системі ПМАК–неіонна ПАР визначає перегин на залежності різниці рН індивідуальних розчинів ПАР та бінарних розчинів ПМАК–ПАР від логарифму співвідношення їхніх концентрацій.

5. Використання колоїдно-хімічного підходу до вивчення біологічних систем

Науковий досвід професора М. М. Солтиса сформував у нього тверде переконання, що колоїдно-хімічний підхід до вивчення біологічних систем є одним із перспективних у вирішенні актуальних питань підтримання гомеостазу в живих організмах, зокрема в організмі людини. Цьому питанню він присвятив свої останні праці, продемонструвавши їх на конференціях [86, 87].

6. Висновки

Процес наукового пізнання є неперервним і ґрунтується на результатах попередніх досліджень, тому сподіваємося, що науковий доробок професора М. М. Солтиса з питань регулювання властивостей дисперсних систем сприятиме підготовці висококваліфікованих фахівців, готових до наукових пошуків та подальшого розвитку колоїдної хімії.

1. *Soltys M. M., Yaremko Z. M.* The determination of the particle distribution function of a highly dispersed suspension // *Visnyk Lviv Univ. Ser. Chem.* 1972. Iss. 14. P. 105–109 (in Ukrainian).
2. *Yaremko Z., Soltys M.* Evaluation of aggregation of particles of suspensions by method of sedimentation analysis // *Colloid J.* 1976. Vol. 38, No. 5. P. 937–939.
3. *Yaremko Z., Soltys M.* Determination of the dispersion of suspensions by means of sedimentation method // *Colloid J.* 1980. Vol. 42, No. 4. P. 692–694.
4. *Yaremko Z., Fedushinskaya L., Soltys M.* Determination of coagulation retardation coefficient for particles in high-dispersity suspensions on the basis of data from sedimentation analysis // *Colloid J.* 1981. Vol. 43, No. 6. P. 995–998.
5. *Yaremko Z. M., Soltys M. N., Fedushinskaya L. B., Gavryliv V. D.* Computer calculation of the particle-size composition of dispersions from the results of sedimentation analysis // *J. Appl. Chem.* 1982. Vol. 55, No. 7. P. 1420–1422.
6. *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.
7. *Nazarov V. V., Lyubina N. V.* Sedimentation analysis and the aggregation stability of aqueous alumina suspensions // *Colloid J.* 1998. Vol. 60, No. 4. P. 497–501.
8. *Roldugina T. V., Rudelev D. S., Ivanova N. I., Summ B. D.* Influence of surfactants on sedimentation stability of hydrophilic suspensions // *Colloid J.* 2000. Vol. 62, No. 4. P. 474–478.
9. *Yaremko Z. M., Fedushinskaya L. B., Gurzel' N. V.* Sedimentation analysis of suspensions of finely dispersed powders // *Colloid J.* 1995. Vol. 57, No. 4. P. 561–564.
10. *Yaremko Z. M., Fedushinskaya L. B., Gurzel' N. V.* Viscous drag of liquid medium in the sedimentation of particle aggregates // *Theor. Found. Chem. Eng.* 1997. Vol. 31, No. 2. P. 181–183.
11. *Yaremko Z., Fedushynska L., Petryshyn R.* Research of titanium dioxide particle aggregation decreasing its aqueous suspension // *Visnyk Lviv Univ. Ser. Chem.* 2016. Iss. 57(2). P. 541–547 (in Ukrainian).
12. *Yaremko Z. M., Soltys M. N., Kuz' V. I.* Calculation of the coagulation kinetics of a suspensions // *Russ. J. Phys. Chem.* 1974. Iss. 48(1). P. 385–388.
13. *Yaremko Z., Soltys M.* Kinetics of slow coagulation of colloidal systems // *Colloid J.* 1976. Iss. 38(6). P. 1030–1034.
14. *Lipatov Yu. S., Soltys M. M., Yaremko Z. M.* The study of the kinetics of adsorption of polymers on highly dispersed adsorbents using computer simulation // *Proceeding of the academy of sciences of the USSR, physical chemistry section.* 1978. Iss. 239(30). P. 640–642 (in Russian).
15. *Soltys M. M., Yaremko Z. M.* Temperature dependence on rate of coagulation of highly dispersed suspensions // *Ukr. Khim. Zh.* 1979. Iss. 45(7). P. 54–57.

16. *Lipatov Yu. S., Soltys M. M., Yaremko Z. M.* Kinetics of polymer adsorption on highly dispersed adsorbents // Proceeding of the academy of sciences of the USSR, physical chemistry section. 1981. Iss. 260–261. P. 463–466.
17. *Soltys M., Fedushinskaya L., Gavryliv V., Yaremko Z.* Adsorption layers of polymethacrylic acid on the aggregative stability of suspensions of zinc-sulphide luminophore suspensions // Colloid J. 1981. Iss. 43(5). P. 830–833.
18. *Fedushinskaya L., Soltys M., Gavryliv V., Yaremko Z.* Effect of the extent to which the zinc-sulphide luminophore particle surface is coated by adsorbed polymethacrylic acid on the stability of luminophore suspensions // Colloid J. 1982. Iss. 44(1). P. 157–160.
19. *Yaremko Z. M., Gavryliv V. D., Soltys M. N.* Kinetics of coagulation of polymer-containing dispersions // Colloid J. 1989. Iss. 51(6). P. 1009–1012.
20. *Lipatov Yu. S., Yaremko Z. M., Soltys M. M.* New approach to the aggregation of macromolecules in the solutions // Proceeding of the academy of sciences of the USSR, physical chemistry section. 1991. Iss. 319(4). P. 910–913 (in Russian).
21. *Yaremko Z. M., Soltys M. N., Gavryliv V. D.* Flocculation of dispersions by water-soluble polymers. 1. Kinetics of flocculation // J. Water Chem. Tech. 1991. Iss. 13(3). P. 220–223 (in Ukrainian).
22. *Yaremko Z. M., Gavryliv V. D., Soltys M. M.* Flocculation of dispersions by water-soluble polymers. 2. Effect of the polymer nature and method of its introduction // J. Water Chem. Tech. 1991. Iss. 13(4). P. 301–304 (in Ukrainian).
23. *Yaremko Z. M., Fedushinskaya L. B., Soltys M. M.* Flocculation of dispersions by water-soluble polymers. 3. Mechanisms of flocculation // J. Water Chem. Tech. 1991. Iss. 13(5). P. 421–424 (in Ukrainian).
24. *Yaremko Z. M., Gavryliv V. D., Yastremskii A. Y., Soltys M. N.* Aggregative stability of suspensions and the density of their coagulation structure // Colloid J. 1994. Iss. 56(1). P. 98–100.
25. *Yaremko Z. M., Soltys M. N., Opainich I. E.* Kinetic control of polymer adsorption on ultradispersed adsorbents // Colloid J. 1996. Iss. 58(50). P. 673–677.
26. *Soltys M. M., Yaremko Z. M.* Adsorption of polymethacrylic acid on titanium dioxide // Adsorpt. Sci. Technol. 1996. Iss. 14(3). P. 199–207.
27. *Soltys M. M., Yaremko Z. M.* Interparticle interaction in zole and suspensions // Proceed. Shevchenko Sci. Soc. 1997. Iss. 1 P. 263–268 (in Ukrainian).
28. *Soltys M. M., Yaremko Z. M., Gavryliv V. D., Yatsishin M. M.* Redispersion of titanium dioxide powder in aqueous solutions of polymethacrylic acid and sodium dodecylbenzenesulfonate // Ukr. Khim. Zh. 1997. Iss. 63(10). P. 51–54.
29. *Yaremko Z. M., Soltys M. N., Zakordonskii V. P., Krupak I. N.* Rheological properties of aqueous mineral dispersions // Ukr. Khim. Zh. 1997. Iss. 63(12). P. 40–43.
30. *Soltys M. M., Yaremko Z. M., Havryliv V. D., Pidzyrailo M. S.* Colloid chemical analysis of the processes of coating formation from dispersed phosphors // J. Soc. Inf. Display. 1998. Iss. 6(3). P. 153–155.
31. *Soltys M. M., Yaremko Z. M., Nykypanchuk D. M., Fedushynska L. B., Havryliv V. D.* Polymethacrylic acid adsorption and the aggregation stability of titanium dioxide suspensions // Adsorpt. Sci. Technol. 1999. Iss. 17(1). P. 37–52.
32. *Soltys M. M., Yaremko Z. M., Tkachenko N. H., Havryliv V. D.* Poly(methacrylic acid) adsorption and electrical surface properties of titanium dioxide suspensions // Adsorpt. Sci. Technol. 2002. Iss. 20(7). P. 633–645.
33. *Soltys M. M., Yaremko Z. M., Fedushynska L. B., Havryliv V. D.* Adsorption of polymers and regulation of the disperse systems properties // Proceed. Shevchenko Sci. Soc.: Chem. Biochem. 2003. Iss. 10. P. 33–42 (in Ukrainian).

34. *Yaremko Z. M., Soltys M. M., Fedushynska L. B., Havryliv V. D.* Adsorption of polymethacrylic acid on disperse adsorbents and conformational changes in the macromolecules // *Visnyk Lviv Univ. Ser. Chem.* 2005. Iss. 46. P. 251–256 (in Ukrainian).
35. *Tkachenko N. H., Yaremko Z. M., Bellmann C., Soltys M. M.* Influence of poly(methacrylic acid) on aggregative stability and electrical surface properties of aqueous suspensions of titanium dioxide // *Colloids Surf., A.* 2006. Iss. 279(1–3). P. 149–158. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2005.12.053>
36. *Tkachenko N. H., Yaremko Z. M., Bellmann C., Soltys M. M.* The influence of ionic and nonionic surfactants on aggregative stability and electrical surface properties of aqueous suspensions of titanium dioxide // *J. Colloid Interface Sci.* 2006. Iss. 299(2). P. 686–695. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2006.03.008>
37. *Soltys M. M., Petryshyn R. S., Yaremko Z. M., Havryliv V. D.* Influence of polymethacrylic acid and dextran sulfate properties of titanium dioxide suspensions // *Polish J. Chem.* 2008. Iss. 82. P. 637–641.
38. *Burka O., Fedushynska L., Yaremko Z., Soltys M.* Features of influence of binary mixtures of surfactants On stability of aqueous suspensions of the titanium dioxide // *Visnyk Lviv Univ. Ser. Chem.* 2010. Iss. 51. P. 305–311 (in Ukrainian).
39. *Petryshyn R. S., Yaremko Z. M., Soltys M. N.* Effects of surfactants and pH of medium on zeta potential and aggregation stability of titanium dioxide suspensions // *Colloid J.* 2010. Iss. 72(4). P. 517–523. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1061933X10040125>
40. *Burka O., Fedushynska L., Yaremko Z., Soltys M.* Aggregative-sedimentation stability of titanium dioxide suspensions in binary solutions of polymethacrylic acid and surfactants // *Visnyk Lviv Univ. Ser. Chem.* 2012. Iss. 53. P. 400–407 (in Ukrainian).
41. *Petryshyn R., Yaremko Z., Soltys M., Borys O.* The determination of specific quantity of hydroxylic surface groups in suspensions of metal oxides // *Visnyk Lviv Univ. Ser. Chem.* 2012. Iss. 53. P. 373–378 (in Ukrainian).
42. *Petryshyn R. S., Yaremko Z. M., Soltys M. M.* The effect of poly(methacrylic acid) on electro-surface properties of titanium dioxide in aqueous suspensions // *Colloid J.* 2013. Iss. 75(6). P. 698–705. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1061933X13060136>
43. *Yaremko Z., Uspenskaya I., Kravtsov V., Ovcharenko F.* Aggregative stability of aqueous suspensions of montmorillonite modified by aromatic polyamine salts // *Colloid J.* 1981. Iss. 43(3). P. 496–498.
44. *Fedushynska L. B., Yaremko Z. M., Havryliv V. D.* The investigation of the stabilizing and flocculating action of polymethacrylic acid in aqueous suspensions of luminophores // *Visnyk Lviv Univ. Ser. Chem.* 1983. Iss. 24. P. 67–71. (in Russian).
45. *Fedorko V. F., Fedushynska L. B., Yaremko Z. M.* The size and electrokinetic potential of particles of a zinc sulphide luminophore in an ethanol medium were determined from kinetic data on settling of the dispersed phase in a constant electric field. // *Ukr. Khim. Zh.* 1987. Iss. 53(1–6). P. 53–55.
46. *Vdovenko N. V., Fedushynska L. B., Yaremko Z. M.* Regulation of properties of metal dispersions in nonaqueous media // *Ukr. Khim. Zh.* 1989. Iss. 55(1–6) P. 28–31.
47. *Fedushynska L. B., Yaremko Z. M., Kostyukov A. I., Kinash O. I.* Modeling of interparticle interactions in finely divided powdered solders, with the aim of regulating the properties of soldering pastes // *J. Appl. Chem.* 1992. Iss. 65(7). P. 1305–1309.

48. *Yaremko Z. M., Fedushinskaya L. B., Ovcharenko F. D.* The disaggregation of powders in liquid media // Proceedings of National Academy of Sciences of Ukraine. 1993. Iss. 11. P.149–152 (in Ukrainian).
49. *Yaremko Z. M. Fedushinskaya L. B. Nikipanchuk, D. M.* Redispersion of powders in a liquid medium // Colloid J. 1995. Iss. 57(2). P. 249–252.
50. *Yaremko Z. M.* Aggregation processes in polymer-containing disperse systems // Ukr. Khim. Zh. 1995. Iss. 61(2). P. 5–8.
51. *Yaremko Z. M.* Aggregation-disaggregation of powders in fluids // Ukr. Khim. Zh. 1999. Iss. 61(6). P. 25–28.
52. *Mikhailik V. B., Pigrukh V. V., Pidzyrailo N. S., Yaremko Z. M.* Modeling the luminescence of a thin-film luminescent coating // J. Opt. Tech. A. 1995. Iss. 62(5). P. 330–332.
53. *Fedushins'ka L. B., Yaremko Z. M., Kinash O. I.* Properties of aqueous polymer-containing aluminum oxide dispersions // Ukr. Khim. Zh. 1995. Iss. 61(5). P. 31–35.
54. *Fedushinskaya L. B., Kinash O. I., Yaremko Z. M.* Colloidal and Rheological Properties of Aluminum Oxide Suspensions Containing Polymer // Colloid J. 1995. Iss. 57(1). P. 121–123.
55. *Yaremko Z. M., Nikipanchuk D. M.* Dispersity and aggregation of powders // Visnyk Lviv Univ. Ser. Phys. Iss. 28. 1996. P. 91–94 (in Ukrainian).
56. *Yaremko Z. M., Fedushinskaya L. B., Yastremskii A. Y.* Influence of the Aggregability of Powders on the Coagulative Structure and Inhomogeneity of the Mass in Disperse Systems // Powder Metall. Met. Ceram. 1996. Iss. 35(1/2). P. 10–14.
57. *Yaremko Z. M., Mel'nik G. A., Fedushinskaya L. B.* Volume filling and coordination number in disperse systems // Ukr. Khim. Zh. 1996. Iss. 62(9). P. 9–12.
58. *Nikipanchuk D. M., Yaremko Z. M., Fedushinskaya L. B.* Interparticle interactions in the titanium dioxide dispersions // Colloid J. 1997. Iss. 59(3). P. 324–328.
59. *Moraru V. N., Ovcharenko F. D., Moraru D. V., Yaremko Z. M.* Adsorption of Poly(methacrylic acid) and Its Effect on the Stability and Electrosurface Properties of Graphite Dispersions: 2. The Effect of Background Electrolyte // Colloid J. 1998. Iss. 60(4). P. 477–483.
60. *Yaremko Z. M., Fedushinskaya L. B.* Rheological Properties of Polymer-Containing Aluminum Oxide Dispersions and Interactions between Dispersed Particles // Colloid J. 1999. Iss. 61(2). P. 257–262.
61. *Yaremko Z. M.* Correlation of coordination number and volume filling in disperse systems // Ukr. Khim. Zh. 1999. Iss. 65(3). P. 30–35.
62. *Yaremko Z. M., Fedushinskaya L. B.* Rheological properties of metal powders dispersed in organic media // Ukr. Khim. Zh. 1999. Iss. 65(2). P. 18–22.
63. *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. Iss. 63(2). P. 253–258.
DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1016602512104>
64. *Yaremko Z. M., Fedushinskaya L. B., Kukil O. I.* Redispersion of aluminium oxide and titanium dioxide powders in the media of the different chemical nature // Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii. 2004. Iss. 3. P. 144–148 (in Ukrainian).
65. *Yaremko Z. M., Fedushins'ka L. B., Moroz I.A.* Dispersity, aggregation and redispersion of powders // Proceed. Shevchenko Sci. Soc. 2005. Iss.15. P. 127–140 (in Ukrainian).

66. *Yaremko Z. M., Tkachenko N. H., Bellman C., Pich A.* Redispergation of TiO₂ particles in aqueous solutions // *J. Colloid Interface Sci.* 2006. Iss. 296(2). P. 565–571. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2005.09.044>
67. *Yaremko Z., Kukil O., Fedushinskaya L.* Colloid-chemical properties of aluminium oxide and titanium dioxide aqueous suspensions in surfactant solutions // *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii.* 2006. Iss. 3. P. 120–122 (in Ukrainian).
68. *Yaremko Z. M., Fedushins'ka L. B.* The formation of structure and rheology of disperse systems // *Proceed. Shevchenko Sci. Soc.: Chem. Biochem.* 2007. Iss.18. P.98–109 (in Ukrainian).
69. *Yaremko Z. M., Moroz I. A.* Re-dispersion of metal carbonate powders in dispersive media of various chemical nature // *Colloids Surf., A.* 2008. Iss. 317(1). P. 186–193. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2007.10.010>
70. *Yaremko Z. M.* Physicochemistry of dispersive systems from micro to nanoscale // *Visnyk Lviv Univ. Ser. Chem.* 2010. Iss. 51. P. 295–304 (in Ukrainian).
71. *Fedushynska L., Yaremko Z., Petryshyn R.* Aggregative-sedimentation stability and polydispersity of water suspensions of barium carbonate // *Visnyk Lviv Univ. Ser. Chem.* 2009. Iss. 50(2). P. 239–245 (in Ukrainian).
72. *Yaremko Z. M., Tkachenko N. G., Fedushinskaya L. B.* Adsorption of Polymethacrylic Acid from Aqueous Solutions on Disperse Titanium Dioxide // *Russ. J. Phys. Chem. A.* 2011. Iss. 85(10). P. 1791–1797. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0036024411100323>
73. *Yaremko Z. M., Petryshyn R. S.* Adsorption of benzethonium chloride from aqueous solutions on dispersed adsorbents // *Colloid J.* 2013. Iss. 75(6). P. 745–750. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1061933X13050177>
74. *Petryshyn R. S., Yaremko Z. M.* Effect of benzethonium chloride adsorption on the electro-surface properties of titanium dioxide in aqueous suspensions // *Himia, Fizika ta Tehnologija Poverhni.* 2018. Iss. 9(3). P. 301–312. DOI: <https://doi.org/10.15407/hftp09.03>
75. *Burka O. A., Fedushins'ka L. B., Yaremko Z. M., Soltys M. M.* The associative interactions of polymethacrylic acid with anionic surfactant in aqueous solutions // *Visnyk Lviv Univ. Ser. Chem.* 2011. Iss. 52. P. 374–381 (in Ukrainian).
76. *Yaremko Z. M., Burka O. A., Fedushinskaya L. B., Soltys M. M.* Intermolecular interactions of polymethacrylic acid with N-alkyl-1,3-propyldiamine // *Russ. J. Phys. Chem. A.* 2012. Iss. 86(2). P. 223–228. DOI: <https://doi.org/10.1134/S003602441202032X>
77. *Yaremko Z. M., Burka O. A., Fedushinskaya L. B., Soltys M. M.* Intermolecular interactions of polymethacrylic acid with nonylphenoxy poly(etoxy) ethanol in water solutions // *Russ. J. Gen. Chem.* 2012. Iss. 82(9). P. 1552–1557. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1070363212090174>
78. *Petryshyn R., Yaremko Z., Soltys M., Gurman V.* The influence of association processes on the surface and bulk properties of aqueous binary solutions of surfactants // *Visnyk Lviv Univ. Ser. Chem.* 2012. Iss. 53. P. 338–344 (in Ukrainian).
79. *Yaremko Z. M., Burka O. A., Fedushynska L. B., Soltys M. M.* The intermolecular interaction of sodium laureth sulfate with benzethonium chloride in aqueous solutions // *Visnyk Lviv Univ. Ser. Chem.* 2013. Iss. 54(2). P. 389–396 (in Ukrainian).
80. *Yaremko Z. M., Fedushinskaya L. B., Burka O. A., Soltys M. M.* Molecular interactions of sodium laureth sulfate with N-alkyl-1,3-pronandiamine in aqueous solutions based on potentiometric and photometric data // *Russ. J. Phys. Chem. A.* 2014. Iss. 88(2). P. 246–249. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0036024414020319>

81. *Yaremko Z. M., Fedushinskaya L. B., Burka O. A., Soltys M. M.* Hydrophobic interactions between polymethacrylic acid and sodium laureth sulfate in aqueous solutions // *Russ. J. Phys. Chem.* 2014. Vol. 88(9). P. 1510–1513.
DOI: <https://doi.org/10.1134/S0036024414090313>
82. *Yaremko Z. M., Nikipanchuk D. M., Fedushinskaya L. B.* Conformational transformations of macromolecules on ionization of polymethacrylic acid in aqueous solutions // *Ukr. Khim. Zh.* 1998. Iss. 64(10). P. 57–61.
83. *Nikipanchuk D. M., Yaremko Z. M., Fedushinskaya L. B.* Electrical Conductivity of Aqueous Solutions of Ionized Polymethacrylic Acid and the Conformation of Macromolecules // *Russ. J. Phys. Chem.* 1999. Iss. 73(1). P. 64–68.
84. *Yaremko Z. M., Fedushinskaya L. B., Nikipanchuk D. M.* Correlation relations between parameters of aqueous solutions of ionized polymethacrylic acid // *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii.* 2002. Iss. 3. P.141–144 (in Ukrainian).
85. *Fedushinskaya L. B., Yaremko Z. M., Burka O. A.* The influence of pH and ionic strength on associative processes in surfactants aqueous solutions // *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii.* 2010. Iss. 4. P. 157–160 (in Ukrainian).
86. *Soltys M. M., Yaremko Z. M., Petryshyn R. S.* The features of double electric layer in biological systems // *Proceedings of XV Ukr.-Pol. Symp. Theoretical and experimental studies of interfacial phenomena and their technological applications, simultaneously with 2nd Nanobiomat Conference nanostructured biocompatible/bioactive materials.* Lviv, 12–15 September 2016. P. 153.
87. *Soltys M., Yaremko Z., Burka O.* Colloidal-chemical processes and equilibrium in model biological processes // *The Book of Abstracts: XVI Scientific Conference “Lviv Chemical Reading – 2017”.* Lviv, 28–31 May 2017. P. II 10 (in Ukrainian).

SOME PROBLEMS OF PROPERTIES REGULATION OF DISPERSED SYSTEMS: FROM MICRO TO NANO

Z. Yaremko*, R. Petryshyn

*Ivan Franko National University of Lviv,
Doroshenko Str., 41, 79000 Lviv, Ukraine
e-mail: zyaremko@lnu.edu.ua*

The results of scientific research on the regulation of the properties of disperse systems conducted at the Ivan Franko National University of Lviv under the direction of Professor M. Soltys have been summarized in this paper. Particular attention has been paid to the issues that remain most relevant today, namely: adsorption of surfactants and polyelectrolytes on a solid surface and the obtaining of nanocomposite disperse systems with specified properties.

The scientific research by Professor M. Soltys has always sought to answer four main issues with regard to the properties of disperse systems.

First: the justification of the method of sedimentation analysis of dispersion as a quantitative assessment of the regulation processes of disperse systems properties.

Subsequently, the improved method of sedimentation analysis was used to determine the dispersion of highly dispersed suspensions containing the aggregates of primary particles as well as the degree of aggregation of dispersed particles in suspensions.

Second: the study of adsorption of polymers and low molecular weight surfactants on a solid surface and interparticle interaction in highly dispersed suspensions. The main point in the development of this direction was the substantiation of the scheme of solid particles interaction of suspensions with macromolecules and their aggregates. According to this scheme, the following three processes can occur simultaneously in the adsorption system: the processes of interparticle interaction of solid disperse particles, the processes of intermolecular interaction of macromolecules, the processes of interaction of macromolecules with solid particles with the formation of their agglomerates. On the basis of the obtained results, the conditions for stabilization and flocculation of highly dispersed aqueous suspensions were examined. Patterns of interparticle interaction were used later to justify the conditions for the redispersion of highly dispersed powders in liquid media.

Third: the study of intermolecular interaction in aqueous solutions of polymethacrylic acid and low molecular weight surfactants. It has been established that the development of associative and aggregative processes in the studied systems is influenced by both the effects of Coulomb and hydrophobic interactions.

Fourth: the justification of the use of colloid-chemical approach to the study of biological systems as one of the most promising in solving topical issues of maintaining homeostasis in living organisms, particularly in the human body.

Keywords: dispersed systems, interparticle interaction, intermolecular interaction, surfactants, polymethacrylic acid.

Стаття надійшла до редколегії 24.10.2018

Прийнята до друку 23.01.2019