

*Комаха Володимир Олександрович, аспірант, кафедра товарознавства та експертизи непродовольчих товарів, Київський національний торговельно-економічний університет, Україна, e-mail: v.komakha@gmail.com.*

*Свідерський Валентин Анатолійович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри хімічної технології композиційних матеріалів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний Інститут», Україна, e-mail: neprod2@knteu.kiev.ua.*

*Комаха Владимир Александрович, аспирант, кафедра товароведения и экспертизы непродовольственных товаров,*

*Київський національний торговельно-економічний університет, Україна.*

*Свідерський Валентин Анатолійович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри хімічної технології композиційних матеріалів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна.*

*Komakha Volodymyr, Kyiv National University of Trade and Economics, Ukraine, e-mail: v.komakha@gmail.com.*

*Sviderskiy Valentyn, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: neprod2@knteu.kiev.ua*

УДК 667.6

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.40247

**Мережко Н. В.,  
Шульга О. С.**

## ОСОБЛИВОСТІ ВЗАЄМОДІЇ СТИРОЛ-АКРИЛОВИХ ПЛІВКОУТВОРЮВАЧІВ З МОДИФІКОВАНИМИ КАОЛІНАМИ

*Досліджено особливості процесів взаємодії в системах каолінів з модифікаторами та стирол-акриловим плівкоутворювачем. Визначено кількісні параметри основних характеристичних смуг, відповідальні за валентні коливання реакційноздатних груп, встановлено характер змін їх інтенсивності та максимальні зсуви відносно базових положень.*

**Ключові слова:** каолін, стирол-акриловий плівкоутворювач, модифікатор, характеристичні смуги поглинання, валентні коливання.

### 1. Вступ

До пріоритетних напрямків розвитку лакофарбової промисловості України належить забезпечення внутрішнього ринку екологічно чистими та безпечними лакофарбовими матеріалами (далі – ЛФМ) з високими експлуатаційними властивостями. Тому впродовж останніх років активізувався процес переходу від виробництва органорозчинних фарб до водно-дисперсійних [1].

Водно-дисперсійні фарби являють собою багатоконпонентні композиції, кожен із складників яких впливає на властивості ЛФМ, однак найбільш вагому роль відіграють плівкоутворювачі та наповнювачі, що складають основу будь-якої фарби. Раніше наповнювачі вводили у лакофарбові композиції виключно з метою здешевлення останніх. З огляду на високу вартість білих пігментів, таких як діоксид титану, їх часткова заміна наповнювачами залишається актуальною. Каолін – нешкідливий, нетоксичний матеріал є альтернативним компонентом водно-дисперсійних фарб. Його використання дозволить знизити собівартість лакофарбової продукції, а модифікування поверхнево-активними речовинами (далі – ПАР) є одним із способів регулювання взаємодії в системі мінеральний наповнювач – плівкоутворювач [2]. Взаємодія між наповнювачем і плівкоутворювачем є одним із найважливіших факторів, які визначають експлуатаційні властивості ЛФМ. Це обумовлює необхідність проведення досліджень в цьому напрямку.

### 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Поверхня каолінів – шаруватих алюмосилікатів – є гідрофільною і полярною. Це полегшує змочуван-

ня і проникнення в міжплощинний простір сполук, які містять полярні групи, але негативно впливає на взаємодію з неполярними і слабополярними полімерами, перешкоджаючи рівномірному розподілу частинок каоліну в полімерній матриці [3]. З метою створення стійких до коагуляції систем, в яких неорганічні частинки добре дисперговані у всьому об'ємі полімеру, поверхню наповнювачів модифікують ПАР.

Фізико-хімічні основи активуючої дії ПАР широко досліджуються науковцями різних країн в рамках розвитку технології композиційних матеріалів. Відомі методи обробки наповнювачів жирними кислотами [4], четвертинними амонієвими солями [5], силанами [6, 7], катіонними, аніонними та неіоногенними ПАР [8–10], що знижує полярність поверхні наповнювачів, покращує дисперсність та зменшує водопоглинання, суттєво зменшує статичну та динамічну межі текучості та дозволяє підвищити ступінь наповнення водних суспензій дисперсних матеріалів. Разом з тим дослідження охоплюють лише невелику частку асортименту ПАР, що можуть бути використанні в якості модифікаторів, а методи модифікації наповнювачів доцільно розширити для досягнення максимального ефекту.

Отримані українськими вченими дані щодо властивостей каолінів та способів їх регулювання використовуються переважно у галузі керамічної промисловості [11, 12]. Вплив модифікованих наповнювачів на реологічні та адсорбційні властивості полімерних водно-дисперсійних систем розширює сфери використання вітчизняних каолінів у виробництві водно-дисперсійних фарб [13, 14]. Розробка нових водно-дисперсійних фарб і регулювання їх властивостей неможливе без встановлення закономірностей взаємодії між наповнювачем та плівкоутворювачем. Це питання у більшості робіт

розглядається фрагментально і здебільшого на теоретичному рівні, що викликає потребу його детального вивчення.

### 3. Об'єкт, мета та задачі дослідження

Об'єкт дослідження — системи на основі каолінів з використанням модифікаторів та водної полімерної дисперсії.

Метою проведених досліджень було становлення встановлення особливостей процесів взаємодії в системах каолін — модифікатор, каолін — плівкоутворювач та каолін — модифікатор — плівкоутворювач.

Для досягнення мети було поставлено наступні задачі:

- провести ІЧ-спектроскопію вказаних систем;
- проаналізувати характеристичні смуги поглинання відповідальні за валентні коливання реакційноздатних груп каолінів та полімеру;
- визначити максимальні зсуви відповідних положень;
- співставити кількісні параметри основних спектральних характеристичних смуг.

### 4. Матеріали та методи дослідження взаємодії плівкоутворювача з модифікованими каолінами

Встановлено, що найкращі результати модифікації каолінів можна отримати шляхом модифікування ПАР в кульових млинах протягом певного часу в сухому стані. За таких умов закріплення модифікатору на поверхні каолінів відбуватиметься без конкурентної адсорбції з боку розчинника (води) та плівкоутворювача (полімерної смоли). Зміна стану поверхні каолінів шляхом механохімічної модифікації сприятиме досягненню максимальної сумісності каоліна із плівкоутворювачем, а це, в свою чергу, дасть змогу отримати наповнені водно-дисперсійні фарби з покращеними експлуатаційними властивостями.

Аналіз процесів взаємодії в системах на основі каолінів з використанням модифікаторів та водної полімерної дисперсії здійснювався із застосуванням методу ІЧ-спектроскопії за допомогою спектрометра Фур'є Avatar 370 PT-TR в діапазоні від 400 до 4000  $\text{cm}^{-1}$ . В якості носія використовувався зневоднений КВг, маса наважки матеріалу, який досліджувався, складала 3 мг. Спектри досліджуваних систем порівнювали-

ся зі спектрами вихідних речовин. Наявність та ступінь взаємодії оцінювалася за зміщенням характеристичних смуг коливань, які відповідають ОН-групам, зв'язкам Si-O-Al і C-H та іншим функціональним групам.

Як плівкоутворювач використано водну дисперсію стирол-акрилового полімеру Osakryl OSA S20. В якості наповнювачів обрано каоліни Глуховецького та Проснянівського родовищ марки КС-1. Обрані каоліни були модифіковані ПАР, а саме водним розчином метилсиліконату калію (ГКЖ-11К), 3-амінопропілтриметоксисилан (Dynasylan AMEO) та 3-метакрилоксипропілтриметоксисилан (Dynasylan MEMO).

### 5. Результати досліджень процесів взаємодії плівкоутворювача з модифікованими каолінами

Детальний кількісний аналіз одержаних інфрачервоних спектрів показав, що найбільш відчутні зміни в процесі модифікування і формування лакофарбових систем відбуваються з параметрами смуг відповідальних за валентні коливання ОН-груп, адсорбованої води та зв'язків Si-O-Al в складі каолінів (рис. 1).

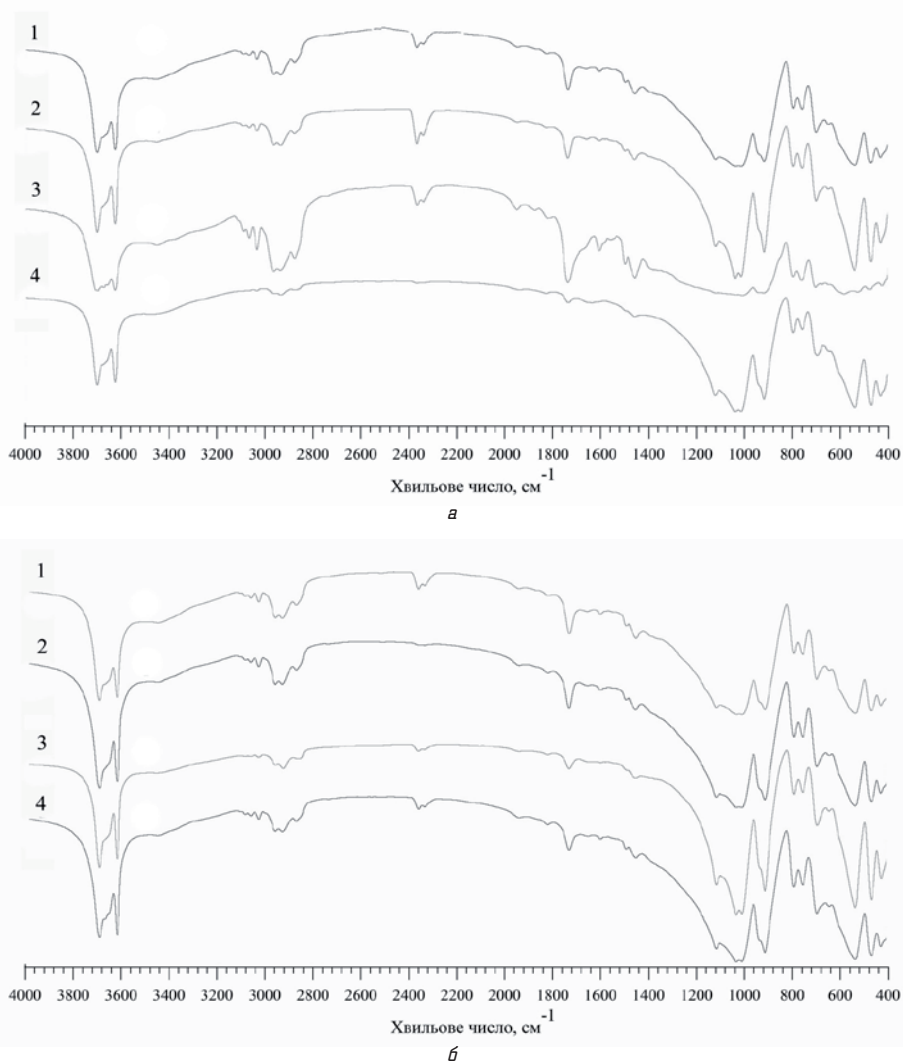


Рис. 1. ІЧ-спектри систем каолін — модифікатор — стирол-акриловий плівкоутворювач: а — проснянівський; б — глуховецький; 1 — без модифікатору; 2 — ГКЖ-11К; 3 — MEMO; 4 — AMEO

Встановлено, що при модифікуванні просянівського каоліну спостерігається зменшення інтенсивності смуг поглинання в діапазоні 3657–3700 та 3608–3628  $\text{см}^{-1}$  (табл. 1), які відповідають за валентні коливання ОН-груп та адсорбованої води [15, 16]. Причому, найбільш інтенсивно вказаний процес відбувається при використанні АМЕО (30 %). Виключення спостерігається для МЕМО. Максимальний зсув положення в бік більших частот ІЧ-смуг зафіксовано для ГКЖ-11К (43  $\text{см}^{-1}$ ).

Таблиця 1

Характеристичні смуги поглинання вихідних каолінів та систем каолінів — модифікатор

Вихідний каолін		Система каолін — ГКЖ-11К		Система каолін — МЕМО		Система каолін — АМЕО		
$\nu$ , $\text{см}^{-1}$	$I$ , у. о.	$\nu$ , $\text{см}^{-1}$	$I$ , у. о.	$\nu$ , $\text{см}^{-1}$	$I$ , у. о.	$\nu$ , $\text{см}^{-1}$	$I$ , у. о.	
Просянівський КС-1	3657	118	3700	110	3683	134	3685	89
	3694	117	3619	106	3608	123	3621	83
	3530	79	3429	64	3425	70	3427	52
	3391	77	782	33	2325	20	2321	28
	—	—	740	18	782	30	795	23
Глуховецький КС-1	3695	88	3690	77	3682	126	3659	106
	3664	87	3657	81	3654	126	—	—
	3621	86	3603	78	3605	120	3611	103
	3438	55	3423	58	3432	78	3434	82
	1638	10	—	—	2910	14	2920	13
	788	15	—	—	1632	14	1652	21
	—	—	—	—	788	25	828	17
	—	—	—	—	—	—	777	14

Кількість адсорбованої води в складі алюмосилікатів при модифікуванні зменшується. Перевагу в даному випадку теж має АМЕО (до 35 %), а при використанні плівкоутворювача цей показник досягає 55 %.

Особливістю застосування МЕМО, АМЕО та плівкоутворювача OSA S20 являється поява на ІЧ-спектрах низки нових смуг (2321–2325, 2934–2962 та 1748  $\text{см}^{-1}$ ) різної інтенсивності, зумовлених наявністю в складі останніх різних функціональних та С-Н груп (табл. 2).

Не виключена і взаємодія каоліну з модифікатором і полімером за участю зв'язків Si-O-Al (смуги поглинання 779–795 та 740–759  $\text{см}^{-1}$ ). Підтвердженням цьому є зменшення їх інтенсивності та зміщення відносно базового положення.

Гідроксильні групи поверхні просянівського каоліну відіграють вирішальну роль в процесах взаємодії і в системах алюмосилікат — модифікатор — плівкоутворювач. Перевагу при цьому має АМЕО (інтенсивність відповідних смуг зменшується до 25 %). Аналогічна закономірність фіксується і для смуг відповідальних за поведінку адсорбованої води. У випадку зв'язків Si-O-Al, навпаки, перевага спостерігається при використанні ГКЖ-11К. ІЧ-спектри всіх досліджуваних систем містять смуги поглинання характерні для функціональних груп модифікаторів та зв'язків С-Н в їх складі.

Таблиця 2

Характеристичні смуги поглинання систем каолінів — плівкоутворювач та каолінів — модифікатор — плівкоутворювач

Каолін	Система каолін — плівкоутворювач		Система каолін — модифікатор — плівкоутворювач					
			Найменування модифікатору					
			ГКЖ-11К		МЕМО		АМЕО	
	$\nu$ , $\text{см}^{-1}$	$I$ , у. о.	$\nu$ , $\text{см}^{-1}$	$I$ , у. о.	$\nu$ , $\text{см}^{-1}$	$I$ , у. о.	$\nu$ , $\text{см}^{-1}$	$I$ , у. о.
Просянівський КС-1	3692	83	3691	112	3694	120	3694	120
	3619	73	3616	104	3621	103	3621	103
	3443	43	3445	73	3423	60	3423	60
	2962	29	2915	29	2875	22	2929	32
	1748	14	2316	17	2955	35	—	—
	821	15	1731	17	2867	21	1711	21
	779	16	1635	14	1723	21	1427	15
	—	—	787	18	1635	14	777	23
	—	—	763	19	787	18	741	19
	—	—	—	—	763	19	—	—
Глуховецький КС-1	3682	107	3680	85	3671	60	3685	95
	3646	107	3657	82	3644	56	3608	87
	3610	106	3611	78	3614	55	3614	45
	3428	82	3412	45	3481	32	—	—
	2951	44	2930	21	2962	18	2942	34
	1819	7	—	—	—	—	—	—
	1730	30	1720	16	1731	12	1722	30
	790	22	774	20	788	12	779	17
	756	21	—	—	—	—	—	—

Співставлення кількісних параметрів основних спектральних характеристичних смуг поглинання свідчить, що у випадку глуховецького каоліну їх інтенсивність на 25–30 % менша у порівнянні із просянівським. Інша картина спостерігається і при модифікуванні.

Тільки у випадку застосування ГКЖ-11К спостерігається незначне (до 10 %) зменшення інтенсивності смуг відповідальних за валентні коливання ОН-груп поверхні каоліну. Максимальне їх збільшення (до 45 %) відмічено для МЕМО. Ефективність використання АМЕО і OSA S20 приблизно однакова.

Кількість адсорбованої води у всіх випадках збільшується від 4,5 % при модифікуванні ГКЖ-11К до 50 % (при використанні АМЕО і OSA S20). Стосовно зміни спектральних характеристичних смуг, відповідальних за валентні коливання зв'язків Si-O-Al, зафіксована неоднозначна картина. Окрім цього слід відмітити появу на ІЧ-спектрах смуг характерних для коливання функціональних груп (особливо у випадку OSA S20) та С-Н зв'язків, як вже відзначалось для систем з використанням каоліну Просянівського родовища.

Неоднозначна картина поведінки характеристичних смуг поглинання, що вибрані для порівняння, спостерігається і для систем на основі модифікованого глуховецького каоліну та акрил-стиролової дисперсії.

Кількість поверхневих гідроксильних груп, що не приймають участі в процесах взаємодії зменшується до 35 % при використанні МЕМО та до 5 % — ГКЖ-11К.

Використання АМЕО супроводжується неоднозначним характером їх поведінки в залежності від місця розташування в структурі каолінів.

Відносно адсорбованої води спостерігається зменшення її кількості (максимум до 40 % для МЕМО). Величина зміщення всіх розглянутих смуг поглинання знаходиться в межах до  $10 \text{ см}^{-1}$ .

Застосування для модифікування глуховецького каоліну КС-1 3-матакрилоксипропілтриметоксисилану забезпечує найбільш повну взаємодію в системах на основі водної дисперсії стирол-акрилових співполімерів Osakryl OSA S20 за участі зв'язків Si-O-Al алюмосиліката. Підтвердженням являється максимальне зменшення інтенсивності смуг поглинання при  $788 \text{ см}^{-1}$ .

## 6. Обговорення результатів дослідження взаємодії стирол-акрилових плівкоутворювачів з модифікованими каолінами

Питання встановлення закономірностей взаємодії між модифікованими каолінами на стирол-акриловим плівкоутворювачем було вивчено детально.

Для аналізу характеристичних смуг спектрів систем каолін — модифікатор — плівкоутворювач було досліджено та порівняно між собою також спектри чистих каолінів, модифікованих каолінів та систем немодифікованих каолінів з плівкоутворювачем. Недоліками роботи можна вважати досить вузький вибір наповнювачів (досліджуються лише каоліни марки КС-1) та використання лише одного виду плівкоутворювача, що буде враховано в подальших дослідженнях.

Проведені дослідження підтвердили можливість використання каолінів українських родовищ в якості наповнювача для водно-дисперсійних фарб. Отримані дані щодо закономірностей процесів взаємодії між модифікованими каолінами і стирол-акриловим плівкоутворювачем дозволяють регулювати властивості фарб шляхом підбору ПАР.

Раніше авторами даної роботи було проведено ряд досліджень щодо впливу модифікованих каолінів Присянівського та Глуховецького родовищ марки КС-1 на реологічні та адсорбційні властивості полімерних водно-дисперсійних систем [13, 14]. Вивчення особливостей взаємодії цих наповнювачів із стирол-акриловим плівкоутворювачем методом ІЧ-спектроскопії доповнило результати попередніх досліджень, підтвердило утворення додаткових вузлів структурної сітки внаслідок взаємодії сегментів полімеру з поверхнею каоліну. Подальші дослідження будуть направлені на вивчення впливу інших типів ПАР та розширені за рахунок використання каолінів інших марок і родовищ.

## 7. Висновки

В результаті проведених досліджень:

1. Отримано ІЧ-спектри систем на основі каолінів з використанням модифікаторів та водної стирол-акрилової полімерної дисперсії.

2. Встановлено, що процеси взаємодії між модифікованими каолінами та стирол-акриловим плівкоутворювачем протікають за участю гідроксильних груп, адсорбованої води та зв'язків Si-O-Al каолінів.

3. Співставлення кількісних параметрів основних спектральних характеристичних смуг поглинання свід-

чить, що у випадку глуховецького каоліну їх інтенсивність на 25–30 % менша у порівнянні із просянівським.

4. Інтенсивність смуг відповідальних за адсорбовану воду та гідроксильні групи просянівського каоліну, які відіграють вирішальну роль в процесах взаємодії в системах каолін — модифікатор — плівкоутворювач, найбільше зменшується при використанні 3-амінопропілтриметоксисилану. У випадку зв'язків Si-O-Al, навпаки, перевага спостерігається при використанні метилсиліконату калію. У випадку глуховецького каоліну інтенсивність смуг відповідальних як за гідроксильні групи, так і за зв'язки Si-O-Al зменшується при використанні 3-матакрилоксипропілтриметоксисилану.

## Література

- Мережко, Н. В. Ринок водно-дисперсійних лакофарбових матеріалів в Україні [Текст] / Н. В. Мережко, О. С. Шульга // SWorld. — 2013. — Т. 11, № 2. — С. 16–24.
- Merezhko, N. Expanding of raw material base of mineral fillers for water-dispersion paints in Ukraine [Text] / N. Merezhko, V. Sviderskyi, V. Komakha, O. Shulga; Ed.: R. Salerno-Kochan // Commodity Science in Research and Practice — Non-food products' quality and innovations. — Cracow: Polish Society of Commodity Science, 2014. — P. 113–117.
- Gysau, D. Fillers for Paints [Text] / Detlef Gysau. — Hannover/Germany: Vincentz Network, 2006. — 199 p.
- Prado, A. G. S. Adsorption, preconcentration and separation of cations on silica gel chemically modified with the herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid [Text] / A. G. S. Prado, C. Airoldi // Analytica Chimica Acta. — 2001. — Vol. 432, № 2. — P. 201–211. doi:10.1016/S0003-2670(00)01372-6
- Mikanovic, N. Influence of Surfactant Chemical admixtures on the Stability and rheological Properties of Calcium Carbonate and Cement Pastes [Text] / N. Mikanovic, C. Jolicoeur, M. Page // Proceedings of conference «Recent developments in superplasticizers». — October 2006. — Vol. 239. — P. 321–344.
- Domka, L. The effect of kaolin modification of silane coupling agents on the properties of the polyethylene composites [Text] / L. Domka, A. Malicka, N. Stachowiak // Polish Journal of Chemical Technology. — 2008. — Vol. 10, № 2. — P. 5–10. doi:10.2478/v10026-008-0020-8
- Avila, L. R. New synthesis strategies for effective functionalization of kaolinite and saponite with silylating agents [Text] / L. R. Avila, E. H. de Faria, K. J. Ciuffi, E. J. Nassar, P. S. Calefi, M. A. Vicente, R. Trujillano // Journal of Colloid and Interface Science. — 2010. — Vol. 341, № 1. — P. 186–193. doi:10.1016/j.jcis.2009.08.041
- Panya, P. The Effect of Ionic Surfactant Adsorption on the Rheology of Ceramic Glaze Suspensions [Text] / P. Panya, E. J. Wanless, O. Arquero, G. V. Franks // Journal of the American Ceramic Society. — 2005. — Vol. 88, № 3. — P. 540–546. doi:10.1111/j.1551-2916.2005.00121.x
- Ding, H. Surface modification of wollastonite by the mechano-activated method and its properties [Text] / H. Ding, S. Lu, G. Du // International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials. — 2011. — Vol. 18, № 1. — P. 83–88. doi:10.1007/s12613-011-0404-2
- Сикорский, А. А. Реологическое поведение водных суспензий каолина в присутствии поверхностно-активных веществ [Текст] / А. А. Сикорский, А. В. Миرونюк, В. А. Сви́дський // Технологический аудит и резервы производства. — 2013. — № 2/1(10). — С. 45–48. — Режим доступа: \www/URL: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/12959>
- Сальник, В. Г. Реологічний аналіз структурно-механічних та реологічних показників збагачених та незбагачених глухівських каолінів в технології виробництва санітарної кераміки [Текст] / В. Г. Сальник, Л. П. Черняк, Р. В. Петрук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2007. — № 6. — С. 16–20.
- Свідський, В. А. Застосування модифікованого каоліну для регулювання властивостей водних дисперсних систем [Текст] / В. А. Свідський, В. Г. Сальник, Л. П. Черняк // Наукові вісті НТУУ «КПІ». — 2010. — № 3. — С. 133–138.

13. Мережко, Н. В. Адсорбційні властивості каолинів [Текст] / Н. В. Мережко, О. С. Шульга // Товари і ринки. — 2014. — № 2(18). — С. 148–155.
14. Мережко, Н. В. Реологічні властивості стирол-акрилових водних дисперсій наповнених каолинами [Текст] / Н. В. Мережко, О. С. Шульга // Вісник ЧДТУ: Технічні науки. — 2014. — № 4. — С. 100–105.
15. Практикум по химии и физике полимеров [Текст]: учеб. изд. / Н. И. Аввакумова, Л. А. Бударина, С. М. Дивгун и др.; под ред. В. Ф. Куренкова. — М.: Химия, 1990. — 304 с.
16. Паукштис, Е. А. Оптическая спектроскопия в адсорбции и катализе. Применение ИК спектроскопии [Текст] / Е. А. Паукштис. — Новосибирск: Институт катализа СО РАН им. Г. К. Борескова, 2010. — 54 с.

#### ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СТИРОЛ-АКРИЛОВЫХ ПЛЕНКООБРАЗОВАТЕЛЕЙ С МОДИФИЦИРОВАННЫМИ КАОЛИНАМИ

Исследованы особенности процессов взаимодействия в системах каолинов с модификаторами и стирол-акриловым пленкообразователем. Определены количественные параметры основных характеристических полос, ответственных за валентные колебания реакционноспособных групп, установлен характер изменений их интенсивности и максимальные смещения относительно базовых положений.

**Ключевые слова:** каолин, стирол-акриловый пленкообразователь, модификатор, характеристические полосы поглощения, валентные колебания.

*Мережко Ніна Василівна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри товарознавства та експертизи непродовольчих товарів, Київський національний торговельно-економічний університет, Україна, e-mail: neprod2@knteu.kiev.ua.*

*Шульга Ольга Сергіївна, аспірант, кафедра товарознавства та експертизи непродовольчих товарів, Київський національний торговельно-економічний університет, Україна, e-mail: olgashulga111@gmail.com.*

*Мережко Ніна Васильевна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой товароведения и экспертизы непродовольственных товаров, Киевский национальный торговельно-экономический университет, Украина.*

*Шульга Ольга Сергеевна, аспирант, кафедра товароведения и экспертизы непродовольственных товаров, Киевский национальный торговельно-экономический университет, Украина.*

*Merezhko Nina, Kyiv National University of Trade and Economics, Ukraine, e-mail: neprod2@knteu.kiev.ua.*

*Shulga Olga, Kyiv National University of Trade and Economics, Ukraine, e-mail: olgashulga111@gmail.com*

УДК 548.31

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.40499

Артемьев С. Р.

## СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О НЕТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДАХ ВЫРАЩИВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НИТЕВИДНЫХ КРИСТАЛЛОВ. ВЫТЯГИВАНИЕ ВИСКЕРОВ ИЗ РАСПЛАВА

*В материале статьи рассмотрены существующие представления об одном из нетрадиционных методов выращивания металлических нитевидных кристаллов, критично проанализированы процессы вытягивания вискеро́в из различных расплавов и разными методами. Результаты проведенных исследований показали, что серьезным показателем степени вытягивания вискеро́в является прочность кристалла.*

**Ключевые слова:** нитевидные кристаллы, методы выращивания, металлические «вискеры», реактор затравки, капиллярное устройство.

### 1. Введение

Еще в 30-х годах прошлого столетия русский ученый А. В. Степанов выдвинул идею нового метода изготовления металлических изделий нужной формы, в том числе стержней и проволок заданного диаметра, путем «вытягивания» их из расплава.

В 1959 году в одном из номеров «Журнала технической физики» он написал, что эта мысль возникла у него в результате проведенного анализа процесса бесслитковой прокатки стали и изготовления других изделий из расплава. Именно данный процесс еще в 1857 году пытался осуществить известный английский изобретатель Генри Бессемер, но так и не довел его до конца.

А. В. Степанов не был первым, кому удалось осуществить на практике данную идею. Ранее, в 1922 году ученый Е. фон Гомперц предложил использовать плавающую на поверхности металлического расплава слюдяную фильеру с отверстием в центре для «вытягивания» и последующей мгновенной кристаллизации металлических кристаллов. При этом форма и диаметр сечения нити соответствовали отверстию в фильере.

Анализ литературных данных показал, что данной проблеме в современных условиях уделяется достаточно пристальное внимание, что, бесспорно, говорит об актуальности темы исследования и, следовательно, данными вопросами необходимо заниматься. Учитывая тот факт, что спектр использования нитевидных