

О. П. РИЖОВА, О. Б. ГУРЖІЙ

## РОЗРОБКА СКЛАДІВ БЕЗСВИНЦЕВИХ ЕМАЛЕЙ ДЛЯ ВИРОБІВ ІЗ ЗОЛОТА, СРІБЛА ТА МІДІ

У роботі представлені результати дослідження скла в системі  $\text{Na}_2\text{O} - \text{BaO} - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ . Розглянуто технологічні параметри отримання скла в дослідній області вивченої системи. Визначено особливості отримання емалевих покриттів на мідних зразках з урахуванням вимог до ювелірних і художніх емалей. Отримані дані дозволили розробити адекватні математичні моделі, які описують залежність «склад – властивість». Синтезовано 150ккло утворен 150ккло утворе, яка забезпечує якісне, прозоре покриття на мідних зразках із раціонального температурою випалу  $800^\circ\text{C}$ . Практично показано принципова можливість отримання легкоплавкої емалі з хорошим блиском, яка не містить у своєму складі токсичних, дорожкоштуючих, дефіцитних сполук свинцю, що дозволяє вирішити економічні та екологічні задачі.

**Ключові слова:** 150ккло утворен емаль, золото, срібло, мідь, водостійкість, температурний коефіцієнт лінійного розширення, коефіцієнт кореляції, математична модель.

В работе представлены результаты исследования стекол в системе  $\text{Na}_2\text{O} - \text{BaO} - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ . Рассмотрено технологические параметры получения стекол в исследуемой области изученной системы. Приведены особенности получения эмалевых покрытий на медных образцах с учетом требований к ювелирным и художественным эмалям. Полученные данные позволили разработать адекватные математические модели, которые описывают зависимость «состав-свойство». Синтезирована бессвинцовая стеклооснова, которая обеспечивает качественное, прозрачное покрытие на медных образцах с рациональной температурой обжига  $800^\circ\text{C}$ . На практике подтверждена принципиальная возможность получения легкоплавкой эмали с хорошим блеском, которая не содержит в своем составе токсичных, дорогих, дефицитных соединений свинца, что позволяет решить экономические и экологические задачи.

**Ключевые слова:** бессвинцовая эмаль, золото, серебро, медь, температурный коэффициент линейного расширения, коэффициент корреляции, математическая модель.

In this work the results of glasses in the system  $\text{Na}_2\text{O} - \text{BaO} - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$  research are represented. Technological parameters of their manufacture in the researched field of the examined system are considered. The peculiarities of manufacturing enamel coatings on cuprous samples with the requirements for jewel and jewel-like enamels taken into account are expounded. By experimental means, basic physical and chemical properties of the researched glasses are detected. The influence of BaO in the quantity of 5 mol. % and 10 mol. % on glass frit properties is examined. Data received helped elaborate mathematical models fit to «content – property» relation. Lead-free enamel providing defect-free, glib and transparent glass cover with high level of glance on the cuprous samples with burning temperature of  $800^\circ\text{C}$  is synthesized. The elaborated enamel can be used as base glass for manufacturing painted coatings of decorative purposes on silver, gold and cooper. Principal possibility of manufacturing low-temperature enamel with high chemical resistance without using lead-bearing upstream material is demonstrated. Such studies allow to solve economic, and environmental problems due to the exclusion from the composition of toxic, scarce and expensive lead compounds. Designed enamels can be applied to gold and silver.

**Keywords:** lead-free enamel, gold, silver, copper, temperature coefficient of linear expansion, the correlation coefficient, a mathematical model.

**Вступ.** На ринку ювелірних та декоративних виробів все більшого попиту набувають товари оздоблені різнокольоровими силікатними емалями. Це можуть бути золоті, срібні або мідні ювелірні прикраси, біжутерія, ікони, столові прибори, картини, елементи декорування інтер'єру та багато іншого. Використання емалевого оздоблення допомагає реалізувати високі художні ідеї та створює ефект неповторності. Емалювання кольорових металів можна віднести до мистецтва, тому воно завжди актуальне та викликає інтерес.

Як правило, склади емалей для кольорових металів, а саме золота, міді та срібла, знаходяться в системі  $\text{R}_2\text{O} - \text{PbO} - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ . У наукових джерелах [1, 2] достатньо інформації про синтез емалей в даній системі. Однак, жорсткі вимоги екології обмежують використання відомих складів, оскільки наявність токсичного оксиду свинцю є вкрай небажаним фактором.

З урахуванням властивостей кольорових металів і технологічних особливостей виготовлення ювелірних та художніх виробів емалі повинні мати певні характеристики:

- коефіцієнт термічного розширення (ТКЛР) емалі повинен бути максимально близьким до ТКЛР металів; золота –  $150 \cdot 10^{-7}$  град<sup>-1</sup>, міді –  $180 \cdot 10^{-7}$  град<sup>-1</sup>, срібла –  $200 \cdot 10^{-7}$  град<sup>-1</sup> [1];

- температура випалу покриттів не повинна

перевищувати температуру, при якій може відбутися деформація металеві підкладки. Так як температура плавлення чистого золота –  $1063^\circ\text{C}$ , міді –  $1083^\circ\text{C}$ , срібла –  $963^\circ\text{C}$ , температура випалу емалей повинна бути не вище  $800^\circ\text{C}$ , а значення температури початку 150ккло 'якшення (ТПР) до  $600^\circ\text{C}$ ;

- емаль повинна бути хімічно стійкою до дії 10 % розчину соляної кислоти. Це пов'язано із особливостями технології нанесення емалі, так як після випалу виріб обробляється кислотою для зняття оксидної плівки, яка утворюється в тій частині металу, що залишилась непокритою емаллю (відбілювання металу);

- емалі повинні мати стабільний декоративний ефект, тобто не змінювати колір та не тьмяніти в результаті багатовипальної технології емалювання виробів [2].

Метою даної роботи є розробка легкоплавких емалей, які не містять у своєму складі токсичних, високовартісних та дефіцитних сполук свинцю для виробів із золота, срібла та міді.

Ураховуючи дані патентної і технічної літератури, розробку складів емалей з необхідним комплексом властивостей для отримання емалевих покриттів на золоті, сріблі та міді проведено на основі системи  $\text{Na}_2\text{O} - \text{BaO} - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ . Причому змінювався вміст компонентів системи  $\text{Na}_2\text{O} - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$  з фіксованою кількістю BaO – 5 мол. % та 10 мол.

% . Інтервал варіювання обрано на основі відомих складів 151кло утворення емалей для кольорових металів, мол. %:  $\text{Na}_2\text{O}$  – 11,0 – 70,0;  $\text{B}_2\text{O}_3$  – 1,0 – 60,0;  $\text{SiO}_2$  – 24,0 – 83,0;  $\text{BaO}$  – 5,0 та  $\text{Na}_2\text{O}$  – 10,0 – 66,0;  $\text{B}_2\text{O}_3$  – 1,0 – 57,0;  $\text{SiO}_2$  – 22,0 – 79;  $\text{BaO}$  – 10,0. Крім того, у центрі обраної для дослідження області натрійборосилікатної системи знаходяться дві низькотемпературні евтектики (точка 1 та 2) з температурою 520 °С (рис. 1), що дозволяє зробити припущення щодо можливості отримання легкоплавкого скла. Систематичні дослідження для отримання математичних моделей «склад – властивість» для даного типу скла не проводилися.

Хімічний склад дослідного скла згідно з планом експерименту (симплекс план Шеффе [3; 4]) та властивості подано в 151кло . 1.

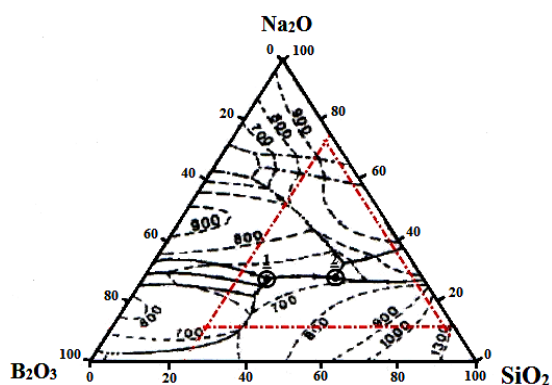


Рис. 1 – Діаграма стану системи  $\text{Na}_2\text{O}$  –  $\text{B}_2\text{O}_3$  –  $\text{SiO}_2$ :  
- ○ - ○ - - дослідна область на діаграмі; 1, 2 – точки евтектики.

Для отримання шихт використано наступні сировинні матеріали: кварцовий пісок, борна кислота, сода кальцинована та вуглекислий барій. Сировинні матеріали розтиралися до проходження через сито 05, змішувалися в заданій кількості в фарфоровій ступці. Варку проведено в шамотних тиглях в електричній печі при температурі 1100 – 1280 °С протягом 80 – 180 хв із наступною сухою грануляцією.

В перерізах проаналізовано здатність скла до кристалізації та визначено область 151кло утворення. Результати приведені на рис. 2.

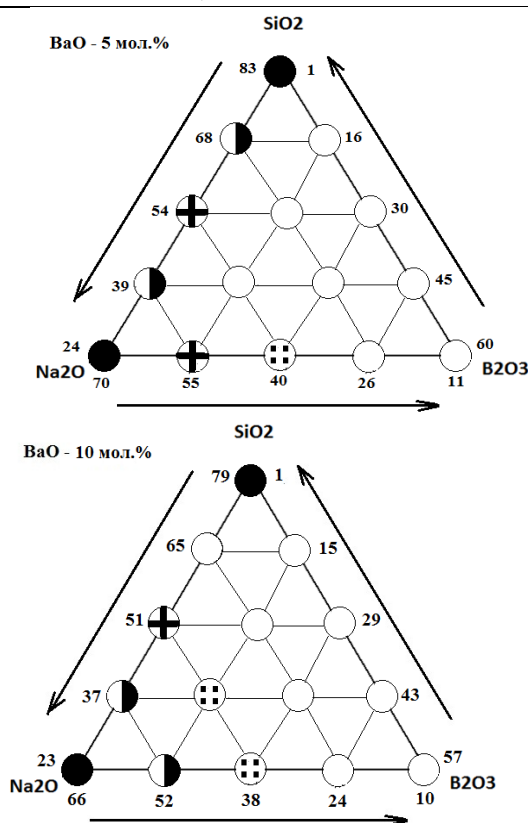


Рис. 2 – Склоутворююча здатність дослідних складів скла:

- – прозоре скло; ⊕ – часткова поверхнева кристалізація; ⊕ – поверхнева кристалізація; ● – об'ємна кристалізація; ● – спек.

Прозоре скло в дослідних перерізах було отримано в області, що прилягає до сторони  $\text{B}_2\text{O}_3$  –  $\text{SiO}_2$ . Область складів, що кристалізуються прилягає до вершини з максимальним вмістом  $\text{Na}_2\text{O}$  та до сторони  $\text{Na}_2\text{O}$  –  $\text{SiO}_2$ . Область скла 151кло утворення перерізах варіюється в залежності від вмісту  $\text{Na}_2\text{O}$ . При  $\text{BaO}$  5 мол.% ця область відповідає вмісту  $\text{Na}_2\text{O}$  від 11 до 40 мол.%, а при  $\text{BaO}$  10 мол.% – від 10 до 24 мол.%.

Таблиця 1 – Хімічний склад та властивості дослідного скла

Номер скла	Вміст компонентів, мол. %				Витрати на титрування 0,01н розчину $\text{HCl}$ , $\text{cm}^3/\text{г}$	ТКЛР · 10 <sup>7</sup> , град <sup>-1</sup>	ТПР, °С	Показник заломлення, $n_D$	Щільність, $\text{г}/\text{cm}^3$
	$\text{SiO}_2$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{B}_2\text{O}_3$	$\text{BaO}$					
1	83,0	11,0	1,0	5,0	-	-	-	-	-
2	24,0	70,0	1,0	5,0	-	-	-	-	-
3	24,0	11,0	60,0	5,0	-	-	-	-	-
4	68,0	26,0	1,0	5,0	64,35	108,32	525	1,519	2,6575
5	54,0	40,0	1,0	5,0	191,9	178,0	450	1,527	2,5661
6	39,0	55,0	1,0	5,0	100,35	154,15	425	1,527	2,6005
7	68,0	11,0	16,0	5,0	2,4	120,0	415	1,527	2,6249
8	54,0	11,0	30,0	5,0	2,35	50,7	595	1,519	2,5498
9	39,0	11,0	45,0	5,0	5,5	63,64	545	1,519	2,3889
10	24,0	55,0	16,0	5,0	164,7	123,78	410	1,527	2,6138
11	24,0	40,0	30,0	5,0	190,75	129,78	460	1,527	2,6055

Продовження табл. 1

12	24,0	26,0	45,0	5,0	5,55	91,8	480	1,527	2,5882
13	54,0	26,0	16,0	5,0	2,55	98,73	560	1,534	2,6932
14	39,0	40,0	16,0	5,0	6,53	107,52	490	1,534	2,7008
15	39,0	26,0	30,0	5,0	3,95	77,7	550	1,534	2,6783
16	79,0	10,0	1,0	10,0	-	-	-	-	-
17	23,0	66,0	1,0	10,0	-	-	-	-	-
18	23,0	10,0	57,0	10,0	-	-	-	-	-
19	65,0	24,0	1,0	10,0	286,4	112,24	520	1,534	2,7940
20	51,0	38,0	1,0	10,0	87,6	139,0	450	1,534	2,8422
21	37,0	52,0	1,0	10,0	274,86	160,45	435	1,527	2,7981
22	65,0	10,0	15,0	10,0	0,7	60,11	550/640	1,534	2,7555
23	51,0	10,0	29,0	10,0	1,83	58,73	555/625	1,534	2,7436
24	37,0	10,0	43,0	10,0	4,18	56,96	520/585	1,534	2,6899
25	23,0	52,0	15,0	10,0	36,81	148,46	425	1,527	2,5894
26	23,0	38,0	29,0	10,0	47,47	122,57	450	1,527	2,7567
27	23,0	24,0	43,0	10,0	1,83	58,73	460	1,527	2,8301
28	51,0	24,0	15,0	10,0	4,67	101,87	545	1,534	2,8702
29	37,0	38,0	15,0	10,0	11,73	128,28	450	1,534	2,7029
30	37,0	24,0	29,0	10,0	1,49	90,1	540	1,534	2,5667

Склади 1 та 16 (табл. 1), які містять ~ 80 мол. %  $\text{SiO}_2$  виявились тугоплавкими та при температурі 1280 °C не проварилися. Склади 2 та 17 із вмістом  $\text{Na}_2\text{O}$  ~ 70 мол. % при температурі варки характеризувалися активним газовиділенням, що спричинило спінювання та виливання розплаву з шамотного тигля. Розплав складів 3 та 18 з умістом  $\text{B}_2\text{O}_3$  ~ 60 мол. % характеризувався високим ступенем агресивності, що призвело до роз'їдання шамотного тигля.

Для звареного дослідного скла визначено комплекс фізико-хімічних властивостей – водостійкість (W) зерновим методом, ТКЛР та ТПР дилатометричним способом, щільність (d) методом гідростатичного зважування та показник заломлення ( $n_D$ ) імерсійним методом [3]. Результати визначення представлено в табл. 1.

Отримані результати проаналізовано методом множинної регресії. За допомогою програми StatGraf отримано залежності властивостей склаоснови від її складу (рівняння 1, 2, 3).

$$W = 0,41622 \text{ SiO}_2 + 2,49618 \text{ Na}_2\text{O} - 1,86525 \text{ B}_2\text{O}_3 + 1,11281 \text{ BaO}, \quad (1)$$

$$\text{ТКЛР} = 0,8719 \text{ SiO}_2 + 2,35126 \text{ Na}_2\text{O} - 0,105964 \text{ B}_2\text{O}_3 + 0,137665 \text{ BaO}, \quad (2)$$

$$\text{ТПР} = 5,98354 \text{ SiO}_2 + 2,35618 \text{ Na}_2\text{O} + 5,66416 \text{ B}_2\text{O}_3 + 8,29736 \text{ BaO}, \quad (3)$$

Оскільки водостійкість є складною властивістю, то отримане лінійне рівняння (1) мало коефіцієнт кореляції 0,59, що свідчить про неадекватність моделі. Тому було проведено додаткові розрахунки для отримання рівняння другого порядку (4).

$$W = -14,3029 \text{ B}_2\text{O}_3 - 25,413 \text{ BaO} + 16,1488 \text{ Na}_2\text{O} - 19,113 \text{ SiO}_2 + 0,250301 \text{ B}_2\text{O}_3^2 - 0,0974735 \text{ Na}_2\text{O}^2 + 0,192909 \text{ SiO}_2^2 + 0,228855 \text{ B}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 + 0,829228 \text{ BaO} \cdot \text{SiO}_2, \quad (4)$$

На рис. 3, 4, 5 проілюстровано кореляційний зв'язок між експериментальними та розрахунковими значеннями. Середня абсолютна похибка досліду для водостійкості складала 45  $\text{см}^3/\text{г}$ , коефіцієнт кореляції – 0,74 (рис. 3). Для ТКЛР середня абсолютна похибка досліду –  $12,8 \cdot 10^{-7}$  град $^{-1}$ , коефіцієнт кореляції – 0,9 (рис. 4). Середня абсолютна похибка досліду для ТПР – 29,5 °C, коефіцієнт кореляції – 0,9 (рис. 5).

У результаті аналізу отриманих рівнянь (1, 2, 3) визначено, що вплив  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$  на властивості підтверджує відомі закономірності в хімії скла [5]: збільшення  $\text{Na}_2\text{O}$  призводить до підвищення ТКЛР, вилуговування; збільшення вмісту  $\text{SiO}_2$  підвищує ТПР та знижує вилуговування та ТКЛР.

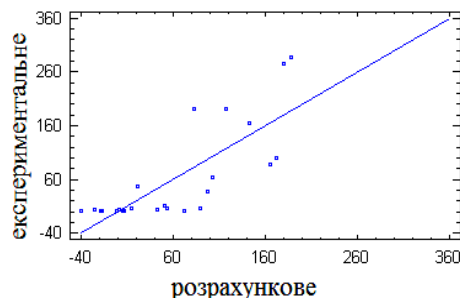


Рис. 3 – Залежність розрахункових значень водостійкості (W) від експериментальних

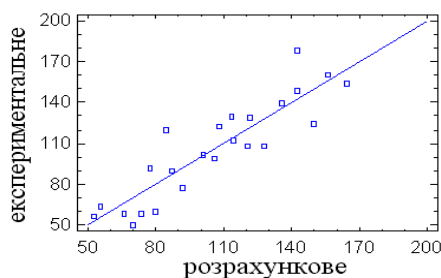


Рис. 4 – Залежність розрахункових значень ТКЛР від експериментальних

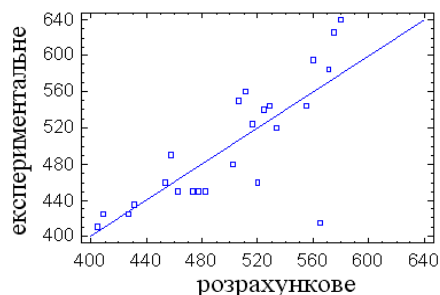


Рис. 5 – Залежність розрахункових значень ТПР від експериментальних

Відомо [4], що при співвідношенні  $R_2O+RO/B_2O_3 \geq 1$  кисень, який вноситься лужними та лужноземельними оксидами, бере участь у побудові  $[BO_4]$ -тетраєдрів. Вони у свою чергу утворюють єдину боросилікатну сітку скла. В більшості дослідних склоосновах зазначене співвідношення більше одиниці. Тобто можна зробити припущення, що бор знаходиться переважно у четвертій координації і підвищує ступінь зв'язності структурної сітки скла. Відповідно це впливає на фізико-хімічні властивості скла – згідно з отриманими рівняннями регресії при збільшенні вмісту  $B_2O_3$  в серіях дослідного скла спостерігається зменшення вилуговування і ТКЛР та збільшення ТПР. В складах № 3, 8, 9, 12, 18, 23, 24, 27 дане співвідношення  $< 1$ , тобто в них теоретично частина бору може перебувати у структурі скла з координаційним числом 3. Так як на дилатометричній кривій скла № 22, 23, 24 спостерігається «поличка» довжиною понад  $30^\circ C$ , то можна стверджувати, що ці види скла мають дві температури початку розм'якшення, тобто їх структура мікронеоднорідна [4]. Для підтвердження наявності в їх структурі борокисневих трикутників, які несумісні з кремнекисневими тетраедрами, що і призводять до ліквідаційної мікроструктури, було проведено ІЧ-спектроскопію (рис. 6). В дослідному склі вміст лужного оксиду, який являється основним носієм активного кисню, знаходиться на постійному рівні ( $Na_2O=10$  мол.%), а  $SiO_2$  заміщується на  $B_2O_3$ .

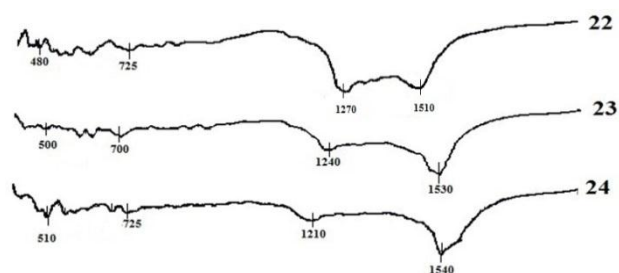


Рис. 6 – ІЧ-спектри дослідних складів скла

Наявність на ІЧ-спектрах полос поглинання [6] з максимумами  $480 - 725 \text{ cm}^{-1}$  свідчить про присутність групіровок  $Si - O - Si$ . Полоси поглинання з максимумом при  $1270, 1240, 1210 \text{ cm}^{-1}$  відповідає валентним коливанням кремнекисневих тетраєдрів  $[SiO_4]$ . Наявність більш інтенсивних максимумів при  $1510, 1530, 1540 \text{ cm}^{-1}$  вказує на знаходження бору

переважно в високополімерізованих групах  $[BO_3]$ . Присутність на спектральній кривій поглинання складу 22 максимуму при  $1290 \text{ cm}^{-1}$  свідчить про присутність деякої кількості бору в четвертій координації. Судячи по інтенсивності максимуму в області  $1270 \text{ cm}^{-1}$ , який відноситься до коливань груп як  $[SiO_4]$  так і  $[BO_4]$ , відбувається накладання двох піків. В складах 23, 24 піків характерних для котирьохкоординатного бору не спостерігається.

Збільшення вмісту  $BaO$  призводить до підвищення ТПР (дослідні склооснови, що містять 5 мол. %  $BaO$  характеризується значеннями ТПР  $410 - 595^\circ C$ , а з вмістом 10 мол. % –  $425 - 640^\circ C$ ).

Максимальний внесок у збільшення щільності вносить  $BaO$ , що цілком зрозуміло у зв'язку з його великою молярною масою. Це підтверджується також і експериментальними значеннями щільності дослідного скла, а саме: при вмісті  $BaO$  5 мол. % щільність знаходиться в межах  $2,38 - 2,7 \text{ г/см}^3$ , а при вмісті  $BaO$  10 мол. % у межах  $2,57 - 2,87 \text{ г/см}^3$ .

Значення показника заломлення дослідного скла лежить в діапазоні  $1,519 - 1,534$ .

Розроблені склоемалі було нанесено на знежирені мідні зразки шлікерним способом методом поливання. Для приготування шлікеру склофрити було розтерто в агатовій ступці та ситовим методом відібрано зерна розміром –  $85 - 100 \text{ мкм}$ . Рецепт шлікеру, мас. ч: фрита – 100, вода – 40, органічна зв'язка – 3,3. Емалі випалено при температурі  $800^\circ C$ , протягом 2 хв.

За комплексом необхідних властивостей обрано склади 13 та 15. Температура випалу  $800^\circ C$  відповідає вимогам і дозволяє отримати якісне покриття, а ТКЛР забезпечує добре зчеплення покриття з мідною підкладкою. Однак, недовіком отриманого скла є низька хімічна стійкість.

**Висновки.** Отримано безсвинцеві емалі, які забезпечують якісне, прозоре склопокриття з високим блиском. Розроблено математичні моделі, що описують залежність властивостей від складу в системі  $Na_2O - BaO - B_2O_3 - SiO_2$  і дають можливість обрати такі склади скла, які можуть бути вихідними при подальшій розробці складів емалей із заданими властивостями для отримання емалевих покриттів різного функціонального призначення.

#### Список літератури

1. Брагина Л. П. Технология эмали и защитных покрытий / Л. П. Брагина, А. П. Зубехина. – Х.: НТУ «ХПИ»; Новореченск: ЮРГТУ(НПИ), 2003. – 484 с.
2. Царева Е. В. Декоративные эмали по благородным металлам / Е. В. Царева, Ю. А. Спиридонов // Стекло и керамика. – 2011. – № 9. – С. 40 – 41.
3. Павлушкин Н. М. Практикум по технологии стекла и ситаллов / Н. М. Павлушкин, Г. Г. Сентюрин, Р. Я. Ходаковская. – М.: Стройиздат, 1970. – 512 с.
4. Мазурин О. В. Термическое расширение стекла / О. В. Мазурин, А. С. Тотей, М. В. Стрельцина, Т. П. Швай-ко-Швайковская]. – Л.: Наука, 1969. – 216 с.
5. Аппен А. А. Химия стекла / А. А. Аппен. – Л.: Химия, 1974. – 352 с.
6. Плюснина И. И. Инфракрасные спектры силикатов / И. И. Плюснина – М.: Изд-во Московского государственного университета, 1967. – 188 с.

## References (transliterated)

1. Bragina L. P., Zubehina A. P. *Tehnologija jemali i zashhitnyh pokrytij* [Technology of enamel and protective coatings]. Kharkov, NTU "KhPI"; Novorechensk: JuRGGU (NPI), 2003, 484 p.
2. Tsareva E. V., Spiridonov Yu. A. Decorative enamel coatings on precious metals. Glass and ceramics. Moscow, 2011, no. 9, pp. 40–41.
3. Pavlushkin N. M., Sentjurin G. G., Hodakovskaja R. Ja. *Praktikum po tehnologii stekla i sitallov* [Workshop on glass technology and glass-ceramics]. Moskva, Strojizdat, 1970, 512 p.
4. Mazurin O. V., Totesh A. S., Strel'cina M. V., Shvajko-Shvajkovskaja T. P. *Termicheskoe rasshirenie stekla* [Thermal expansion glass]. Leningrad, Nauka, 1969, 216 p.
5. Appen A. A. *Himija stekla* [Glass chemistry], Leningrad, Himija, 1974, 352 p.
6. Plyusnina I. I. *Infrakrasnyie spektryi silikatov* / I. I. Plyusnina – Moscow: Izd-vo Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta, 1967. – 188 p.

Надійшла (received) 10.07.2016

## Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

**Розробка складів безсвинцевих емалей для виробів із золота, срібла та міді / О. П. Рижова, О. Б. Гуржій** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 22 (1194). – С. 150-154. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-0821.

**Разработка составов бессвинцовых эмалей для изделий с золота, серебра и меди / О. П. Рыжова, О. Б. Гуржий** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 22 (1194). – С. 150-154. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-0821.

**Development of compositions of lead-free enamels for products with gold, silver and copper / O. P. Ryzhova, O. B. Gurzhiy** // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Chemistry, chemical technology and environment. – Kharkov: NTU "KhPI", 2016. – № 22. – 150-154. – Bibliogr.: 6. – ISSN 2079-0821.

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Рижова Ольга Петрівна** – кандидат технічних наук, доцент, проректор з науково-педагогічної роботи ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпропетровськ; тел.: (0562) 47-36-97; e-mail: olga\_ryzhova777@mail.ru.

**Рижова Ольга Петровна** – кандидат технических наук, доцент, проректор по научно-педагогической работе ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепропетровск; тел.: (0562) 47-36-97; e-mail: olga\_ryzhova777@mail.ru.

**Ryzhova Olga Petrivna** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipropetrovsk; tel.: (0562) 47-36-97; e-mail: olga\_ryzhova777@mail.ru.

**Гуржій Ольга Борисівна** – ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», аспірант; тел.: (067) 995-87-87; e-mail: gurju.o@yandex.ua.

**Гуржий Ольга Борисовна** – ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», аспирант; тел.: (067) 995-87-87; e-mail: gurju.o@yandex.ua.

**Gurzhiy Olga Borisivna** – Ukrainian State University of Chemical Technology, Postgraduate Student; tel.: (067) 995-87-87; e-mail: gurju.o@yandex.ua.