

March 2024

## STUDY OF THE PHYSICAL AND TECHNICAL PROPERTIES OF GROUND ENAMELS IN THE SYSTEM $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-K}_2\text{O-CaO-B}_2\text{O}_3\text{-NiO}$

Shohrukh NAIMOV

*Tashkent Chemical-Technological Institute, Tashkent, Uzbekistan, shoxruxnaimov820@gmail.com*

Mastura ARIPOVA

*Tashkent Chemical-Technological Institute, Tashkent, Uzbekistan, aripova1957@yandex.ru*

Follow this and additional works at: <https://cce.researchcommons.org/journal>

---

### Recommended Citation

NAIMOV, Shohrukh and ARIPOVA, Mastura (2024) "STUDY OF THE PHYSICAL AND TECHNICAL PROPERTIES OF GROUND ENAMELS IN THE SYSTEM  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-K}_2\text{O-CaO-B}_2\text{O}_3\text{-NiO}$ ," *CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING*: Vol. 2023: No. 1, Article 1.

DOI: 10.34920/cce202311

Available at: <https://cce.researchcommons.org/journal/vol2023/iss1/1>

This Article is brought to you for free and open access by Chemistry and Chemical Engineering. It has been accepted for inclusion in CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING by an authorized editor of Chemistry and Chemical Engineering. For more information, please contact [zuchra\\_kadirova@yahoo.com](mailto:zuchra_kadirova@yahoo.com).

## STUDY OF THE PHYSICAL AND TECHNICAL PROPERTIES OF GROUND ENAMELS IN THE SYSTEM $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-K}_2\text{O-CaO-B}_2\text{O}_3\text{-NiO}$

Shohrux NAIMOV ([shoxruxnaimov820@gmail.com](mailto:shoxruxnaimov820@gmail.com))  
Mastura ARIPOVA ([aripova1957@yandex.ru](mailto:aripova1957@yandex.ru))  
Tashkent Chemical-Technological Institute, Tashkent, Uzbekistan

*The aim of the study is to develop quality ground enamels based on local raw materials to replace imported ones. Glasses were synthesized in the  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-K}_2\text{O-CaO-B}_2\text{O}_3\text{-NiO}$  system. The physical and technical properties of the synthesized glasses were determined. Compositions that meet the regulatory requirements have been identified. The possibility of synthesis of priming enamels for household metal products based on local raw materials has been proved.*

**Keywords:** frit, spreadability, density, temperature coefficient of linear expansion, surface tension

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВЫХ ЭМАЛЕЙ В СИСТЕМЕ $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-K}_2\text{O-CaO-B}_2\text{O}_3\text{-NiO}$

Шохрух НАИМОВ ([shoxruxnaimov820@gmail.com](mailto:shoxruxnaimov820@gmail.com))  
Мастура АРИПОВА ([aripova1957@yandex.ru](mailto:aripova1957@yandex.ru))  
Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан

*Целью исследования является разработка качественных грунтовых эмалей на основе местных сырьевых материалов, для замены импортируемых. Синтезированы стекла в системе  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-K}_2\text{O-CaO-B}_2\text{O}_3\text{-NiO}$ . Определены физико-технические свойства синтезированных стекол. Выявлены составы, удовлетворяющие нормативным требованиям. Доказана возможность синтеза грунтовых эмалей для металлических изделий хозяйственно бытового назначения на основе местных сырьевых материалов.*

**Ключевые слова:** фритта, растекаемость, плотность, температурный коэффициент линейного расширения, поверхностное натяжение

## $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-K}_2\text{O-CaO-B}_2\text{O}_3\text{-NiO}$ SISTEMASI ASOSIDA GRUNTLI EMALNING FIZIK-TEKNIK XUSUSIYATLARINI O'RGANISH

Shohrux NAIMOV ([shoxruxnaimov820@gmail.com](mailto:shoxruxnaimov820@gmail.com))  
Mastura ARIPOVA ([aripova1957@yandex.ru](mailto:aripova1957@yandex.ru))  
Toshkent kimyo-tekhnologiya instituti, Toshkent, O'zbekiston

*Tadqiqotdan ko'zlangan maqsad – import qilinadiganlar o'rnini bosuvchi mahalliy xomashyo asosida sifatli tuproq emallarini ishlab chiqish. Shishalar  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-K}_2\text{O-CaO-B}_2\text{O}_3\text{-NiO}$  tizimida sintez qilindi. Sintezlangan shishalarning fizik-tekNIK xususiyatlari aniqlandi. Normativ talablarga javob beradigan kompozitsiyalar aniqlandi. Mahalliy xomashyo asosida maishiy metall buyumlar uchun gruntovka emallarni sintez qilish imkoniyati aniqlandi.*

**Kalit so'zlar:** fritta, yoyiluvchanlik, zichlik, chiziqli kengayishning harorat koeffitsienti, sirt tarangligi

DOI: 10.34920/cce202311

### Введение

Эмалирование металлов – широко распространенный способ защиты металлических изделий от коррозии и придания им определенных эксплуатационных и эстетико-потребительских свойств. В настоящее время устойчивость стекловидного покрытия ряда изделий оказывается недостаточной, например, имеются сведения об относительно низкой химической стойкости эмалей, которая проявляется в трудности удаления налета с покрытия без применения средств бытовой химии в процессе эксплуатации. В связи с этим в производстве эмалированных изделий наблюдается тенденция к применению эмалей с повышенной химической устойчивостью [1-6].

Качество эмалевого покрытия существенно зависит от величины сцепления с ме-

таллом, поэтому желательно усилить адгезионные свойства грунтовки с металлом [7].

Грунтовка создает наилучшие условия для сцепления покровной эмали с защищаемой поверхностью. Сцепление должно быть настолько высоким, чтобы покрывающий слой не мог быть отделен от металла при химическом или механическом воздействии. Поэтому на изделие, после предварительной подготовки его поверхности, наносят грунтовую эмаль, подсушивают и обжигают при 850-900 °С, а затем уже наносят покровную эмаль в один или несколько слоев с подсушкой и последующим обжигом при той же температуре [8].

С целью улучшения процесса сцепления грунта с металлом увеличено содержание оксида алюминия, однако при этом требуется более высокая температура варки фритты [9].

Многие ученые проводили исследования по получению грунтовой эмали на основе отходов [9-10].

Требование для грунтовой эмали должно быть следующим: наряду с подгонкой теплового расширения к значению этого параметра для основного металла следует обеспечивать хорошее смачивание поверхности металла эмалью, а во избежание динактивных процессов грунтовая эмаль должна иметь более высокое поверхностное натяжение, чем покровная. От грунтовой эмали требуется оптимальная вязкость в интервале 102-103 Па·с при технически приемлемых температурах обжига [11].

Температура размягчения грунтовой эмали должна быть приблизительно на 50-100 °С выше температуры размягчения покровного слоя. В этом случае достигается прочное сцепление слоев эмали между собой [12]. В то время как покровный слой эмали находится в расплавленном состоянии, основной слой, или грунт, лишь размягчается [13-14].

На данный момент известны однослойные белые легкоплавкие покрытия [15-20] для малоуглеродистой стали на основе Al—В—Si стеклок с участием щелочных и щелочноземельных оксидов, TiO<sub>2</sub> и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Как правило, белые эмали с пониженной плавкостью содержат фтор, являются низко кремнеземистыми, с содержанием SiO<sub>2</sub> не более 41 мас. %, имеют повышенное (до 26 мас. %) содержание В<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, до 14 мас. % щелочных оксидов и до 2 мас. % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Температуры варки таких стекол составляют 1200 °С, а обжига грунтового покрытия — не ниже 750 °С.

При разработке стекол для эмалирования была взята многокомпонентная система R<sub>2</sub>O—RO—В<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—SiO<sub>2</sub>—TiO<sub>2</sub>(SnO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>)—P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>—F, на основе которой в настоящее время изготавливаются белые однослойные эмали, но они не удовлетворяют вышеизложенным требованиям. Недостатком эмалей, полученных на основе этой однослойной системы, является наличие оксидов CoO и NiO, обеспечивающих адгезию, заведомо вредных для человека, а также увеличение стоимости из-за использования большого объема В<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [21].

Исследована возможность использования стекол на основе базовой системы Na<sub>2</sub>O—CaO—TiO<sub>2</sub>—SiO<sub>2</sub> для получения безфтористых безборных грунтовых покрытий. Установлена

оптимальная концентрация оксида сцепления (CoO) в разработанных составах эмалей. Определено влияние суспендирующих материалов на характеристики грунтовых эмалевых покрытий и установлено их рациональное количество. Полученные безфтористые безборные грунтовые покрытия рекомендованы к производственным испытаниям с целью их использования при эмалировании стальных изделий хозяйственно-бытового назначения [22].

Разработаны принципы синтеза легкоплавкой грунтовой фритты с высоким электропротивлением на основе стекломатрицы псевдотройной системы R<sub>2</sub>O—RO—(В<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+SiO<sub>2</sub>) за счет обеспечения проявления полищелочного и поликатионного эффектов с установленным соотношением щелочных и щелочноземельных оксидов [23].

Разработан состав комплексного активатора сцепления, содержащий минимальное количество дорогих оксидов CoO и NiO, который обеспечивает необходимую реактивность грунтового расплава при температуре обжига 800-820 °С за счет дополнительного введения MnO<sub>2</sub> и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Выявлена специфика процессов и установлены оптимальные условия формирования системы малоуглеродистая сталь — легкоплавкое двухслойное эмалевое покрытие однократного обжига при температуре 820 °С на основе разработанного грунта, который имеет в своем составе комплексный активатор сцепления, в сочетании с белой титановой эмалью [23].

Другим способом защиты металлических изделий от коррозии является нанесение защитных покрытий на металл "два слоя—один обжиг" (2С/1Ф), который заключается в том, что на поверхность изделия наносится грунтовое покрытие, а затем, не проводя его крепления обжигом, на грунтовой слой наносят покровную эмаль. По этому методу ученые также провели множество исследований, одно из них: при добавлении триполифосфата натрия (Na<sub>5</sub>P<sub>3</sub>O<sub>10</sub>) к силикатной грунтовой эмали (ЭСГ-26) удалось получить грунтовую эмаль, покрывающую поверхность металла при низкой температуре. Анализ полученных данных позволил установить, что добавка Na<sub>5</sub>P<sub>3</sub>O<sub>10</sub> в количестве более 6,5% является источником интенсивного газообразования, что приводит к браку покрытия, т.к. происходит вспенивание эмале-

вого слоя. Оптимальным количеством содержания  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$  является 6%, данное количество реагента обеспечивает необходимую водонепроницаемость грунтовой эмали, равномерно распределенной в структуре слоя, не приводя к браку покрытия. Хотя этот способ покрытия поверхности металла защитными покрытиями имеет ряд преимуществ, он также имеет и недостатки. Одним из возможных решений данной проблемы является введение в состав шликера компонентов, приводящий к холодному отверждению первого слоя. Для этого применяют фосфаты и алюминаты (алюминат натрия, соли фосфорной кислоты и т.д.), что приводит к перерасходу средств [24].

До сих пор были получены различные эмали на основе нескольких различных составов. Очень широко развиваются в основном однослойные эмали. Другим примером этого являются однокомпонентные белые эмали, полученные на основе системы состава  $\text{R}_2\text{O}-\text{RO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{TiO}_2(\text{SnO}_2, \text{ZrO}_2)-\text{P}_2\text{O}_5-\text{F}$ , но эти эмали не удовлетворяют ряду требований. Изучив эту композиционную систему и уменьшив вместо нее количество  $\text{SiO}_2$ , используя оксиды  $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  в соотношении 1:1:1 и добавляя  $\text{TiO}_2$ , удалось получить белые низкотемпературные эмалевые покрытия. Однако показатель вязкости полученных эмалевых композиций невысок из-за того, что оксиды  $\text{NiO}$ ,  $\text{CoO}$ , обеспечивающие необходимую вязкость, не могут быть использованы в однослойных эмалях. Это является одним из основных недостатков однослойных эмалей [25].

Проведены работы по получению эмалевых покрытий щелочестойкой грунтовкой без оксидов кобальта и фтора. Исследовалась следующая система:  $\text{R}_2\text{O} - \text{ZrO}_2 - \text{SiO}_2$ , в которой количество компонентов изменялось следующим образом (мас. %):  $\text{R}_2\text{O}$  от 20 до 40 через 2,5%;  $\text{ZrO}_2$  от 0 до 8 через 2%,  $\text{SiO}_2$  от 30 до 50 через 5%. При добавлении щелочных оксидов были использованы оксиды  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  и  $\text{Li}_2\text{O}$ , которые вводили в стеклошихту в следующих соотношениях:  $\text{Na}_2\text{O}:\text{K}_2\text{O}$  от 4:1 до 6:1. С этими составами было получено 12 составов, каждый из которых включал  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{MnO}$ . Наиболее приемлемым среди них определен состав, содержащий 34-40  $\text{SiO}_2$ ; 20-30

$\text{P}_2\text{O}_5$ ; 3-5  $\text{ZrO}_2$ , представляющие собой систему комбинированных s-, p-, d-элементов. Основным недостатком данной работы является то, что сырьем, использованным для обеспечения состава, являются реактивы марок «Ч» и «ХЧ». Производство на основе такого сырья в промышленных масштабах приведет к существенному увеличению затрат [26].

Производство качественных эмалированных изделий хозяйственно-бытового назначения требует применения новых перспективных способов нанесения покрытий, таких как однослойное эмалирование, золь-гель технология, а также двухслойное эмалирование с однократным обжигом или обжигом в два этапа. Эти технологии являются не только энерго- и ресурсосберегающими, но и позволяют получать во многих случаях тонкослойные покрытия с улучшенными свойствами.

Целью исследования является разработка качественных грунтовых эмалей на основе местных сырьевых материалов, для замены импортируемых.

#### Методы исследования

Варка стекла осуществлялась в электрической печи с карбидкремниевыми нагревательными элементами. Плавку стекольной шихты осуществляли в шамотных тиглях емкостью 200-250 г при температуре 1350-1380  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$  с выдержкой в течение 80-90 минут. Расплав сливали в воду и получали гранулы фритты [27].

Состав грунтового покрытия получали из тонкоизмельченной фритты, добавляя компоненты в соответствии с требованиями [28].

Процесс получения грунтового покрытия на поверхности металла (холоднокатанный листовый прокат для эмалирования марки DC04ЕК) [29-30] осуществлялся в электропечи СНОЛ. Точность определения температуры составляла  $\pm 5 \text{ Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ .

Химический анализ сырьевых компонентов и синтезированных стекол определен на энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре Rigaku CG EDXRF (США).

Температурный коэффициент линейного расширения, плотность, поверхностное натяжение определяли по методу Аппена [5].

Растекаемость фритты определяли в соответствии с [31].

### Результаты и обсуждение

На основе системы  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-K}_2\text{O-CaO-B}_2\text{O}_3\text{-NiO}$  в лабораторных условиях были синтезированы стекла. Для синтеза стекол послужили следующие сырьевые компоненты: кварцевый песок Самаркандского месторождения; известняк Кашкадарьинского месторождения; сода производства СП ООО "Кунградский содовый завод"; алюминий содержащий отход Шуртанского газохимического комплекса и борная кислота. Химический состав исходных сырьевых компонентов представлен в таблице 1, а синтезированных стекол – в таблице 2.

В таблице 2 наряду с составами синтезированных стекол приведены составы фритт, используемых на производстве в России и Турции. Приблизительную аналогию по составам можно провести для состава №2 с турецким.

По компонентному составу синтезированные стекла идентичны российской фритте, однако в последней отсутствует оксид магния.

Расчетные значения плотности, поверхностного натяжения и температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР), а также экспериментальные значения растекаемости испытуемых образцов отражены в таблице 3. Растекаемость определяли при температуре 860 °С. Графическая зависимость этих величин от состава приведена на рисунках 1 и 2.

Как видно из приведенных данных, ТКЛР меняется в пределах  $101,9\text{-}136,5 \cdot 10^{-7}$  град<sup>-1</sup>. Растекаемость колеблется в пределах 37-65 мм, плотность –  $2,25\text{-}2,73$  г/см<sup>3</sup>, а поверхностное натяжение –  $2,81\text{-}3,33 \cdot 10^{-3}$  Н/м.

Проанализированы результаты, представленные в таблице 3 и рисунках 1, 2. На основании нормативного документа [30] к марке лег-

Химический состав сырьевых материалов

Таблица 1

Сырье	Массовое содержание оксидов, %								п.п.п
	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
Кварцевый песок	92,5	-	1,03	0,271	3,51	-	0,04	0,087	-
Сода кальцинированная	-	57,20	-	-	-	-	-	-	42,80
Борная кислота	-	-	-	-	-	55,0	-	-	45,0
Известняк	0,31	-	0,034	53,40	0,23	-	5,03	0,06	40,94
Алюминий содержащий отход	0,676	-	0,04	0,525	96,8	-	-	0,84	1,12

Химический состав синтезированных стекол (фритта)

Таблица 2

Состав №	Массовое содержание оксидов, %										
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MgO	NiO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	54,9	6,11	27,0	0,55	8,82	0,04	0,39	0,81	0,36	0,152	-
2	47,6	5,81	28,1	0,45	7,15	0,20	0,99	0,66	1,01	0,127	-
3	44,4	5,62	26,9	0,43	7,07	0,26	-	0,66	0,93	0,08	-
4	55,2	7,33	31,6	0,19	2,12	0,13	0,6	0,87	0,51	0,14	-
5	66,2	2,86	20,1	0,52	6,36	0,03	0,72	0,48	0,15	0,09	2,6
6	64,4	3,51	17,2	0,61	6,07	0,03	1,25	0,50	0,57	0,1	5,8
7	52,1	2,92	21,2	0,39	4,89	1,54	4,73	0,43	0,58	0,02	11,2
№8. ФГТ2С-3313 (Россия)	56,0	2,51	18,6	0,06	5,37	0,98	0,95	-	0,52	0,337	8,88
9. GR – 2252 (Турция)	47,9	6,1	30,4	1,29	7,69	0,08	0,42	0,1	0,89	0,078	-

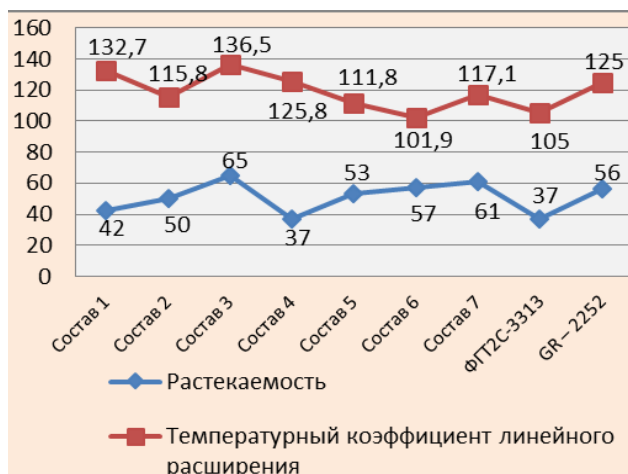


Рисунок 1. Зависимость растекаемости и ТКЛР от состава грунтовой эмали.

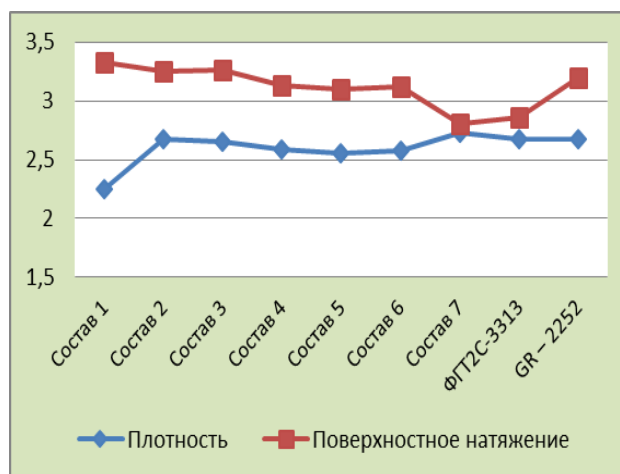


Рисунок 2. Зависимость плотности и поверхностного натяжения от состава грунтовой эмали.

Таблица 3

Физико-технические свойства грунтовых эмалей

Индекс состава	Температурный коэффициент линейного расширения $\cdot 10^7, \text{град}^{-1}$	Растекаемость, мм	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Поверхностное натяжение $\cdot 10^3, \text{Н/м}$
№1	132,7	42	2,25	3,33
№2	115,8	50	2,67	3,25
№3	136,5	65	2,65	3,26
№4	125,8	37	2,59	3,13
№5	111,8	53	2,55	3,1
№6	101,9	57	2,58	3,12
№7	117,1	61	2,73	2,81
№8. ФГТ2С-3313 (Россия)	105	37	2,67	2,86
9. GR – 2252 (Турция)	125	56	2,68	3,2

коплавкого компонента можно отнести состав фритты № 7, для которого ТКЛР равен  $117,1 \cdot 10^{-7} \text{ град}^{-1}$ , а растекаемость – 61 мм. Составы фритт №2, №5, №6 относятся к марке относительно легкоплавких компонентов по растекаемости и температурному коэффициенту линейного расширения. Составы фритт №1, №3, №4 ввиду не соответствия величин ТКЛР и растекаемости определенным маркам исключаются из дальнейших исследований. Показатели фритты российского производства (№8) соответствуют марке, присвоенной этой фритте, а именно относительно тугоплавкий компонент. Фритта турецкого производства (№9) по растекаемости соответствует марке относительно легкоплавкого компонента, а по ТКЛР – легкоплавкому компоненту.

Анализ полученных данных позволяет выбрать для дальнейших исследований составы №2, №5, №6. Легкоплавкий состав фритты №7 нежелателен ввиду сложностей, возникающих при последующем эмалевом покрытии.

Заключение

На основе системы  $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--Na}_2\text{O--K}_2\text{O--CaO--B}_2\text{O}_3\text{--NiO}$  синтезированы стекла для получения грунтового покрытия на металле. Шихта для получения стекол содержит местные природные минеральные компоненты, такие как кварцевый песок, известняк, продукты химических производств – сода, борная кислота и алюминий содержащий отход химического производства. Определено, что составами, способными удовле-

творить нормативным требованиям, предъявляемым к фритте для грунтового покрытия по растекаемости и температурному коэффициенту линейного расширения, являются со-

ставы №2, №5 и №6, которые относятся к классу средней плавкости, которые в дальнейшем будут служить основой в процессе нанесения покровной эмали.

#### REFERENCES

1. Borovoy V.Yu. [Development of an enamel coating composition with specified characteristics]. *Mezhdunarodnyy nauchnyy simpozium imeni akademika M.A. Usova «Problemy geologii i osvoyeniya nedr»* [International scientific symposium named after academician M. A. Usov "Problems of geology and subsoil development"]. Sborniki trudov simpoziuma, Tomsk, 2020, 334-335.
2. Zubekhin A.P., Strakhov V.I., Chekhovskiy V.G. *Fiziko-khimicheskiye metody issledovaniya tugoplavkikh nemetallicheskih i silikatnykh materialov* [Physico-chemical methods for the study of refractory non-metallic and silicate materials]. Sankt-Peterburg, Sintez Publ., 1995. 190.
3. Petzold A., Poschmann H. *Email und Emailiertechnik*. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1992. (Russ. Ed.: Pettsol'd A., Poschmann G. *Emal' i emalirovaniye*. Moscow, Metallurgiya Publ., 1990, 576.)
4. Braginoy L.L., Zubekhina A.P. *Tekhnologiya emali i zashchitnykh pokrytiy* [Technology of enamel and protective coatings]. Khar'kov: NTU «KHPi» Publ., 2003. 486.
5. Appen A.A. *Khimiya stekla*. Leningrad, Khimiya Publ., 1974, 352.
6. *Emalirovaniye metallicheskih izdeliy* [Enameling of metal products]. Leningrad, Mashinostroyeniye Publ., 1972. 496.
7. Mario K., Krunoslav P., Ivan St., Josipa A. Adhesion and anticorrosive properties of DTM coating as related to primer coating. *Gradevinar*, 2019, 71/5, 401-408. DOI: 10.14256/JCE.2435.2018
8. Ryabova A.V. *Belyye legkoplavkiye odnosloynnyye stekloemalevyye pokrytiya dlya stali*. Diss. dokt. fiz.-mat. nauk [White fusible single-layer glass enamel coatings for steel. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Novocheerkassk, 1999. 141.
9. Zemlyanaya Ye.B. *Razrabotka sostavov i tekhnologii gruntovykh i odnosloynnykh emaley dlya stali s ispol'zovaniyem glinozemsoderzhashego otkhoda*. Diss. dokt. fiz.-mat. nauk [Development of compositions and technology of ground and single-layer enamels for steel using alumina-containing waste]. Novocheerkassk, 2005. 177.
10. Yatsenko Ye.A., Ryabova A.V., Zubekhin A.P., Guziy V.A. Odnosloynnyye legkoplavkiye belyye stekloemalevyye pokrytiya dlya bytovoy gazovoy apparatury [Single-layer fusible white glass-enamel coatings for household gas equipment]. *Steklo i keramika*, 2002, 2, 33-34.
11. Bragina L.L., Zubekhin A.P. *Tekhnologiya emali i zashchitnykh pokrytiy* [Technology of enamel and protective coatings]. Khar'kov, NTU «KHPi» Publ., 2003, 484.
12. Chumakov A.A. [Adhesion strength of a single-layer enamel coating with a metal surface]. *Sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii Pamyati V.F. Petrushevskogo* [Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference in memory of V.F. Petrushevsky]. Moscow, 2019, 4-7.
13. Aleutdinov A.D. *Tekhnologii naneseniya i restavratsii emaley chornyykh metallov sfokusirovannym izlucheniym dugovogo istochnika*. Diss. dokt. fiz.-mat. nauk [Technologies for applying and restoring enamel coatings of ferrous metals by focused radiation from an arc source. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Tomsk, 2015. 137.
14. Ioffe V.Ya. *Tekhnologiya emalirovaniya bytovoy gazovoy i elektricheskoy apparatury* [Enameling technology for household gas and electrical equipment]. *Steklo i keramika*, 1993, 8, 25-27.
15. Ryabov A.V., Yatsenko Ye.A., Kerimova V.V., Klimov L.V. *Stekloemalevoye odnosloynnoye pokrytiye dlya antikorroziionnoy zashchity stal'nykh izdeliy*. *Fizika i khimiya stekla*, 2019, 1, 97-100.
16. Yatsenko Ye.A. Osobennosti resursosbergayushchey tekhnologii funktsional'nykh odnosloynnykh kompozitsionnykh emaley pokrytiy dlya stali. *Fizika i khimiya stekla*, 2011, 1, 54-69.
17. Yatsenko Ye.A., Ryabova A.V., Zubekhin A.P., Guziy V.A. Odnosloynnyye legkoplavkiye belyye stekloemalevyye pokrytiya dlya bytovoy gazovoy apparatury. *Steklo i keramika*, 1997, 1, 29-30.
18. Yatsenko Ye.A. Problema stsepleniya odnosloynnykh steklokompozitsionnykh pokrytiy s metallami. *Praktika protivokorroziionnoy zashchity*. 2002, 24/2, 31-37.
19. Yatsenko Ye.A., Zemlyanaya Ye.V., Krasnikova O.S. Tsvetnyye odnosloynnyye stekloemali dlya stali. *Steklo i keramika*, 2006, 1, 28-31.
20. Berdenishvili I.G., Shaligina O.V. Nizkotemperaturnyye odnosloynnyye temnookrashennyye stekloemalevyye pokrytiya dlya bytovykh plit [Low-temperature single-layer dark-colored glass-enamel coatings for household stoves]. *Vestnik natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta*, 2010, 155-158.
21. Minkevich T.S., Tavgen V.V., Rodsevich S.P. Shelochnyye titanosilikatnyye stekla dlya belykh stekloemaley s povyshennoy korroziionnoy stoykostyu. *Steklo i keramika*, 2005, 7, 31-33.
22. Biliy Ya.I., Kislichna R.I., Nagoma T.I., Naumenko S.Yu., Pavlova K.V. Bezbomnyye gruntovyye emaley pokrytiya. *Voprosy khimii i khimicheskoy tekhnologii*, 2013, 5, 155-159.
23. Shaligina O.V. *Gruntovyye frity dlya elektrostacheskogo emalirovaniya bytovoy tekhniki po malouglychnym stalyam*. Avtoref. kan-tekh. nauk. [Priming frits for electrostatic enameling of household appliances on low-carbon steels. PhD diss. abstract]. Kharkiv, 2006, 23.
24. Xoroshavina V.V., Davityan M.V. Resursosbergayushchaya tekhnologiya polucheniya funktsional'nykh kompozitsionnykh stekloemalevykh pokrytiy dlya stali. *Khimicheskiye nauki*, 2016, 23/9-2, 136-139.
25. Klimova L.V. *Cteklokrystallicheskiye belyye emaley pokrytiya dlya stali*. Diss. kan-tekh. nauk. [Glass-ceramic white enamel coatings for steel. PhD diss.]. Novocheerkassk, 2017, 138.
26. Bolshakov V.I., Savin Yu. L., Prikhod'ko A.P., Savin L.S., Vdovkina G.G., Zalagina Ye. Fiziko-khimicheskyy podkhod k sintezu nizkotemperaturnoy beskopal'tovoy stekloemali v kachestve zashchitnogo pokrytiya. *Vestnik Pridneprovskoy gosudarstvennoy akademii stroitelstva i arkhitektury*, 2010, 8-13.
27. Soshina T.O., Mukhamadyarova V.R. Vliyaniye temperatury i vremeni termicheskoy obrabotki na strukturu emalevogo pokrytiya. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta*. 2019, 21/2, 82-87. DOI: 10.15593/2224-9877/2019.2.10
28. Yatsenko E.A. Izucheniye vliyaniya predvaritel'noi podgotovki raznorodnykh metallov na kachestvo emalevogo pokrytiya. *Praktika protivokorroziionnoy zashchity*, 2010, 1, 5-12.
29. Yatsenko E.A., Dzyuba E.B., Veropakha N.V. Izucheniye vliyaniya sposoba obrabotki poverkhnosti stali, kak faktora obrazovaniya kontaktnogo sloya, na prochnost' stsepleniya sistemy metall pokrytiye. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta)*, 2012, 16, 119-128. (In Russ.)
30. Ryabova A.V., Yatsenko E.A., Kerimova V.V., Klimova L.V., Fanda A.Yu., Smolii V.A. Glass Enamel Monolayer Coating for the Protection of Steel Articles Against Corrosion. *Glass Physics and Chemistry*, 2019, 45/1, 82-84.
31. GOST 52569-2018. *Frity*. Tekhnicheskiye usloviya. Moscow Standartionform Publ., 2018, 31. (In Russ.)
32. Bezborodov M.A. *Samoproizvol'naya kristallizatsiya silikatnykh stekol*. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1981. 248 p.