

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Направление подготовки/профиль: 18.06.01 Химическая технология / 2.6.14 Технология силикатных тугоплавких неметаллических материалов

Школа: Инженерная школа новых производственных технологий

Отделение: Научно – образовательный центр Н. М. Кижнера

Научный доклад об основных результатах подготовленной  
научно-квалификационной работы

Тема научного доклада
Разработка составов и технологии боросиликатных функциональных эмалей с добавками оксида цинка

УДК 666.29:661.682.2:661.847'022

Аспирант

Группа	ФИО	Подпись	Дата
A9 – 53	Боровой Виталий Юрьевич		22.05.2023

Руководителя профиля подготовки

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ Н.М. Кижнера ИШНПТ	Петровская Татьяна Семеновна	Д.Т.Н., профессор		07.06.2023

Руководитель отделения

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой – руководитель НОЦ Н.М. Кижнера на правах кафедры	Краснокутская Елена Александровна	Д.Х.Н., профессор		07.06.2023

Научный руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ Н.М. Кижнера	Казьмина Ольга Викторовна	Д.Т.Н., профессор		22.05.2023

Томск – 2023 г.

В данной научной – квалификационной работе разработаны составы и предложены технологии получения боросиликатных функциональных эмалей с добавками оксида цинка. Актуальность данной работы состоит в разработке новых видов стеклоэмалей для черных металлов, отвечающие комплексу современных требований. Так для чугунных ванн, эмаль должна обладать высоким значением КЛТР, высокой растекаемостью, при этом покрытие должно быть достаточно устойчивым к воздействию современных моющих средств.

Изготовление фритты для эмалирования, как и силикатного стекла, относится к энергоемким процессам, актуальны вопросы получения фритты новыми энергосберегающими способами, в частности получение силикатного расплава в индукционной печи.

На сегодняшний день актуальны исследования по разработке новых видов стеклоэмалей, обладающих антибактериальными свойствами. Для придания силикатному покрытию таких дополнительных функций в состав эмали вводят различные модификаторы, к которым относятся наноразмерный оксид цинка.

В первой главе проанализированы научные данные по составам, структуре и свойствам боросиликатных функциональных эмалей для черных металлов. Рассмотрены сведения о влиянии оксидных групп на физико–химические свойства силикатных эмалей. Описаны структура и свойства оксида цинка, его влияние на свойства силикатной эмали в зависимости от дисперсности частиц и технологии введения.

Во второй главе приведены характеристики исходных компонентов для варки эмалей: кварцевый песок, оксид магния, сода кальцинированная, глинозем, борная кислота, триполифосфат, криолит, селитра калиевая, диоксид титана. Для приготовления покрытий применяли общепринятые в технологии эмалирования материалы. Покрытия наносили на серый чугун и сталь марки ст3, предварительно обработанную различными способами. Для придания антибактериальных свойств эмали использован наноразмерный оксид цинка,

полученный электродуговым методом в ИФПМ РАН СО г. Томск. Средний размер частиц оксида цинка составляет 50 нм.

Третья глава посвящена разработке состава фритты с заданным комплексом свойств. Для разработки выбрана система  $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2-\text{SiO}_2$  и исследовано влияние химического состава фритты на физико-химические свойства эмали.

Четвертая глава посвящена технологии получения и разработке химически устойчивой к кислотам и щелочам фритты, методом индукционного нагрева. За основу для исследования взят состав промышленной эмали для трубопроводов соответствующий ЭСБ – 1011 согласно ГОСТ 24405–80, в новом составе дорогой компонент  $\text{Li}_2\text{O}$  заменен на  $\text{ZnO}$ .

Пятая глава посвящена, разработке состава и влиянию наноразмерного оксида цинка на антибактериальные свойства по отношению к грамположительным и грамотрицательным бактериям эмали системы  $\text{Na}_2\text{O} - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2 - \text{SiO}_2$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петцольд А., Пешманн Г. Эмаль и эмалирование. Справ. изд. – М.: Металлургия, 1990. - 576 с.
2. Н.И. Минько, Т.А. Матвеева. Стеклоэмали для стальных и чугуновых изделий // Стекло и керамика. 1999 № 11 с. 25 – 30.
3. Варгин В.В. Эмалирование металлических изделий. – Л.: Машиностроение, 1972. – 496 с.
4. Chen, Minghui; Li, Wenbo; Shen, Mingli; с соавторами. Glass coatings on stainless steels for high-temperature oxidation protection: Mechanisms // Corrosion Science. – 2014.- Vol. 82.- p. 316-327.
5. Wu, Mingyu; Chen, Minghui; Zhu, Shenglong; с соавторами. Protection mechanism of enamel-alumina composite coatings on a Cr-rich nickel-based superalloy against high-temperature oxidation // Surface & Coatings Technology. – 2016. – Vol. 285. – p. 57-67.
6. Min'ko, N.I.; Lazareva, E.A. Protection of Nichrome-Alloy Articles from High-Temperature Corrosion (Review) // Glass and Ceramics. – 2018. – Vol. 75. - Issue 1. – p. 34-42.
7. Guo Cean; Chen Minghui; Liao Yimin; с соавторами. Protection Mechanism Study of Enamel-Based Composite Coatings Under the Simulated Combusting Gas Shock // Acta Metallurgica Sinica. – 2018. - Vol. 54. - Issue 12. - p. 1825-1832.
8. Podjuklova, Jitka; Bartek, Vratislav; Lanik, Tomas; с соавторами. Properties of Glass-Ceramic Enamel Coats and their Used in Biological Environment // КНИГА, p. 974-979.
9. Podjuklova, Jitka; Bartek, Vratislav; Lanik, Tomas; и др. Properties of Glass-Ceramic Enamel Coats and their Used in Biological Environment // 21st International Conference on Metallurgy and Materials: Brno, CZECH REPUBLIC, 2012. – p. 23-25,

10. Bharati, Sanghamitra; Soundrapandian, Chidambaram; Basu, Debabrata. Studies on a novel bioactive glass and composite coating with hydroxyapatite on titanium based alloys: Effect of gamma-sterilization on coating // JOURNAL OF THE EUROPEAN CERAMIC SOCIETY. – 2009. - Vol. 29. - Issue 12. - p. 2527-2535.
11. Sanyal, Sucharita; Shukla, Mayur; Dandapat, Nandadulal; с соавторами In vitro evaluation of bioactive glass ceramic coating for application on Ti6Al4V based biomedical implants // JOURNAL OF NON-CRYSTALLINE SOLIDS. - 2018. – Том: 500. – С. 22-29.
12. Min'ko, NI, Matveeva, TA. Glass enamels for steel and cast-iron articles (Review) // Glass Ceram. – 1999. - №12. – p. 358– 363.
13. Rodtsevich, SP, Eliseev, SY, Tavgen, VV. Low-melting chemically resistant enamel for steel kitchenware // Glass Ceram. – 2003. – Vol. 60(1–2). – p. 23– 25.
14. Yatsenko, EA. Specific features of the resource-saving technology of functional single-layer composite enamel coatings for steel // Glass Phys Chem. – 2011. – Vol.37( 1). P. 41– 50.
15. Votava, M.L. Acid-Resistant Satin Finishes // Ceramic Engineering and Science Proceedings. – 2003. – Vol. 24. – Issue 5. – P. 77-78.
16. Rossi, S., Scrinzi, E. Evaluation of the abrasion resistance of enamel coatings // Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. – 2013. – Vol. 68. – p. 74-80.
17. Partridge, G. Improved Enamels for Chemical Plant // GEC journal of science & technology. – 1981. – Vol. 47(2). - P. 87-94.
18. Fan, L., Reis, S.T., Chen, G., Koenigstein, M.L. Impedance models and water transport behavior of steel pipe coated with cathodically polarized enamel // International Corrosion Conference Series. – 2018. – P. 10604.
19. Kozlova, AP, Guba, NI, Drobot, IA. Comparative testing of one-coat enamels for pipes. Glass Ceram. – 2001. – Vol. 58(1–2): P. 72– 74.

20. Jafari, M. Email Author, Sarraf, J. Effect of nano-silica on acid resistance properties of enamel and its connection to energy saving // Ceramic Transactions. – 2010. – Vol. 214. - P. 69-76.

21. Yan, D.; Reis, S.T.; Tao, X.; Chen, G.; Brow, R.K.; Koenigstein, M.L.. Effect of chemically reactive enamel coating on bonding strength at steel/mortar interface // Construction and Building Materials. – 2012. – Vol. 28. - Issue 1. – P. 512-518.

22. Ivanov, I.V., Barinov, Yu.D., Ivanova, L.N. Effect of Oxides of Mg, Ca, and Sr on the Properties of Fluorine-Free Priming Enamels // Glass and Ceramics. – 1984. - № 41 (9-10). - P. 446-447

23. Bachar, A., Mabrouk, A., De Sousa Meneses, D., (...), Sadallah, Y., Echegut, P. Study of the firing type on the microstructure and color aspect of ceramic enamels // Journal of Alloys and Compounds. – 2018. – Vol. 735. – P. 2479-2485.

24. Gnesin, G.G. Glass, Glaze, and Enamel Over the Millennia. II. Glazes and Enamels // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2016. – Vol. 54(11-12). - P. 750-756.

25. Izzagina, D. A.; Uglinskikh, M. Yu; Vlasova, S. G. Composition Development and Property Study of Alkali-Resistant Enamel for The Protection of Chemical Apparatus // Glass and Ceramics. – 2018. – Vol. 75. – P. 234-236.

26. Volceanov, E., Fazakas, E., Muntean. Glass-frits properties obtained from Nigeria raw materials // Revista Romana de Materiale / Romanian Journal of Materials. – 2008. - № 38(1), P. 21-28.

27. Waggener. J. Frit making metal oxides and regulatory compliance // Ceramic Engineering and Science Proceedings. – 2004. – Vol. 25(5). - P. 141-147.

28. Kassem A. S., Mostafa M. Z., Abadir M. F. Hot water acid-resistant enamels for sheet steel / S. A. El Sherbiny // Materials and Corrosion. – 2010. – Vol. 61. – P. 58-63.

29. Петцольд А., Пешманн Г. Эмаль и эмалирование. Справ. изд. – М.: Металлургия, 1990. - 576 с.

30. Минько Н.И., Матвеева Т.А.. Стеклоэмали для стальных и чугунных изделий // Стекло и керамика. – 1999. - № 11. – с. 25 – 30.
31. Варгин В.В. Эмалирование металлических изделий. – Л.: Машиностроение, 1972. – с. 496.
32. Рябова А.Н., А.Ю. Величко, В.В. Хорошавина, Л.В. Климова Особенности кристаллизации белых титансодержащих стеклоэмалей // Национальная ассоциация ученых. – 2015. - №3 (8). – с. 114 – 117.
33. Славов В.И., Задорожная В.Н., Семериков В.И., Костылев С.Н. Рентгенографический контроль в технологии белых титановых эмалей // Стекло и керамика. - 1992. - №8. – с. 23 – 24.
34. Климова Л.В. Стеклокристаллические белые эмалевые покрытия для стали. Диссертация на соискание уч. ст. к.т.н., Новочеркасск, 2017. 138 с.
35. Ходский Л.Г. Химически устойчивые стеклоэмали. – Наука и техника, 1988. - 111 с.
36. В.И. Славов, В.Н. Задорожная, В.И.Семериков, С.Н.Костылев. Пути повышения качества белых титановых эмалей // Стекло и керамика. - 1992. - № 10. - с. 20.
37. Варгин В.В. Технология эмали и эмалирования металлов – М.: Из-во литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1958. – 398 с.
38. Локшин В.Я. Технология эмалирования металлических изделий. Из-во промышленности РСФСР, 1951., 340 с.
39. Тавгень В.В., Родцевич С.П., Минкевич Т.С. Щелочные титаносиликатные стекла для белых стеклоэмалей с повышенной коррозионной стойкостью // Стекло и керамика. – 2005. - № 7. – с. 31-33.
40. O'Byrne, L. Cast iron quality for good porcelain enameled parts (Conference Paper) / 66th Porcelain Enamel Institute Technical Forum; UnitedStates // Ceramic Engineering and Science Proceedings. - 2004. – Vol. 25, Issue 5, p. 109-111
41. Stefano Rossi, Caterina Zanella, Ryan Sommerhube. Influence of mill

additives on vitreous enamel properties // *Materials Design*. - 2014. – Vol. 55. – 2014. – p. 880-887.

42. Павлушкин Н.М. Химическая технология стекла и силикатов, М. Стройиздат, 1983 432 с.

43. Пути повышения качества белых титановых эмалей / В.И.Славов, В.Н.Задорожная, В.И.Семериков, С.Н.Костылев // *Стекло и керамика*. – 1992. № 10. - С. 20-25.

44. Я.А. Сатнуновский, Д.А. Кольшкин. Способ приготовления шликера кислотоустойчивых эмалей. Авторское свидетельство № 77807.

45. Гулюян, Ю.А., *Технология стекла и стеклоизделий*, 3-е изд., перераб. и доп. Владимир: Транзит-Икс, 2015. 710 с.

46. Матвиенко В.Н., Баринов Ю.Д. О влиянии щелочных оксидов на глушение титановых эмалей // *Неорганические стекловидные покрытия и материалы*: Рига. - 1969.- С 309-315

47. Варгин. Эмалирование металлических изделий / Под общ. ред. проф. В. В. Варгина. - 2-е изд., перераб. и доп. - Ленинград : Машиностроение. [Ленингр. отд-ние], 1972. - 495 с.

48. Shenglong Yu, Fuhui Zhu, Wang. Exploring the hindering mechanism of element Ti on the adherence of CoO-bearing one-coat enamel // *Applied Ceramic Technology*. – 2019. – Vol. 16, Issue 1. – P. 185-194

49. Rossil S., Zanella C., Sommerhuber R. Influence of mill additives on vitreous enamel properties // *Materials Design*. – 2014. – Vol. 55. – P. 880-887

50. Rossi S., Parziani N., Zanella C. Abrasion resistance of vitreous enamel coatings in function of frit composition and particles presence // *Wear*. – 2015. – Vol. 332–333. – P. 702-709

51. Rossi S., Fedel M., Deflorian F., Parziani N. Abrasion and chemical resistance of composite vitreous enamel coatings with hard particles published // *Special issue article*. – 2015. - №26. – p. 827 - 837

52. Reis, Signo T., Koenigstein Mike., Fan Liang. The Effects of Silica on the Properties of Vitreous Enamels // *Materials*. – 2019. - Т 12., № 248



53. Практикум по технологии керамики и огнеупоров: Учебное пособие // Под ред. Полубояринова Д.Н., Попильского Р.Я. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1992.- 349 с.

#### Структура ZnO

54. White W.B., Roy R. New High-Pressure Polymorph of ZincOxide // Science. – 1962. – P. 993.

55. Патент ВУ № 17999. Бессвинцовое сортовое стекло. Бобкова, Н.М., Трусова, Е.Е., Захаревич, Г.Б., Шишканова, Л.Г. Дата публикации патента: 28.02.2014 г.

56. Fang X.S., Bando Y., Golberg D. Recent progress in one dimensional ZnS nanostructures: Syntheses and novel properties // Journal of Materials Science Technology. – 2008. - V.24. – P. 512-519.

57. He Y.N., Shang S.G., Cui W.Y., Li X., Zhu C.C., Hou X. Investigation of luminescence properties of ZnO nanowires at room temperature // Microelectronics Journal. – 2009. – V.40. P. 517-519.

58. Chen Y.W., Qiao Q., Liu Y.C., Yang G.L. Size-controlled synthesis and optical properties of small-sized ZnO nanorods // Journal of Physical Chemistry. - 2009. – V.113. P. 7497-7502.

59. Yemmireddy V.K., Hung Y.C. Using photocatalyst metal oxides as antimicrobial surface coatings to ensure food safety — opportunities and challenges // Compr Rev Food Sci Food Saf. – 2017. – Vol. 16. – p. 617–631

60. Siddiqi K.S., Rahman A., Tajuddin H.A. Properties of zinc oxide nanoparticles and their activity against microbes // Nanoscale Res Lett. – 2018.

61. Iqbal T., Khan M. A., Mahmood H. Facile synthesis of ZnO nanosheets: structural, antibacterial and photocatalytic studies // Materials Letters. – 2018 – Vol. 224. – P. 59–63.

62. Look D.C. Recent advances in ZnO materials and devices // Mater Sci Eng B: Solid-State Mater Adv Technol. – 2001. – Vol. 80. – p. 383–387.

63. Borysiewicz M.A. ZnO as a functional material, a review // *Crystals*. – 2019. – Vol. 10. – P. 1 – 29

64. Diguna L. J., Fitriani A. D., Liasari B. R et al. Optical and photodetection properties of zno nanoparticles recovered from zn dross // *Crystals* (Basel). – 2021. – Vol. 11. – P. 1–8.

65. Dulta K, Koşarsoy Ağçeli G, Thakur A et al. Development of alginate-chitosan based coating enriched with ZnO nanoparticles for increasing the shelf life of orange fruits (*Citrus sinensis* L.) // *Jornal of Polymers and the Environment*. – 2022. – Vol. 30. – p. 3293-3306

66. Liang Yu., Li W., Wang X., et al. TiO<sub>2</sub>–ZnO/Au ternary heterojunction nanocomposite: excellent antibacterial property and visible-light photocatalytic hydrogen production efficiency // *Ceram International*. – 2022. – Vol. 48. – p. 2826–2832.

67. Kezhen Qi, Cheng B., Jiguo Yu, Wingken Ho. Review on the improvement of the photocatalytic and antibacterial activities of ZnO // *J Alloys and Compounds*. – 2017. – Vol. 727. – p. 792–820.

68. Kim I, Viswanathan K, Kasi G et al. ZnO nanostructures in active antibacterial food packaging: preparation methods, antimicrobial mechanisms, safety issues, future prospects, and challenges // *Food Rev Intl*. – 2020. - Vol. 38. – p. 537 – 565

69. Chong WJ, Shen S, Li Y et al. Additive manufacturing of antibacterial PLA-ZnO nanocomposites: benefits, limitations and open challenges. *J Mater Sci Technol*. – 2022. – Vol. 111. – p. 120–151

70. Amrillah T., Hermawan A., Yin S., Juang J-Y. Formation and physical properties of the self-assembled BFO–CFO vertically aligned nanocomposite on a CFO-bufered two-dimensional flexible mica substrate // *Royal society of chemistry*. – 2021. – Vol. 11. – p. 15539–15545

71. Sirelkhatim A, Mahmud S, Seeni A et al. Review on zinc oxide nanoparticles: antibacterial activity and toxicity mechanism // *Nano-Micro Letters*. – 2015. – Vol. 7. – p. 219–242.

72. Huang Z, Zheng X, Yan D et al. Toxicological effect of ZnO nanoparticles based on bacteria // *Langmuir*. – 2008. – Vol. 24. – p. 4140–4144.

73. Ma H, Williams PL, Diamond S.A. Ecotoxicity of manufactured ZnO nanoparticles - a review // *Environ Pollut*. – 2013. – Vol. 172. – p. 76–85.

74. Bellanger X, Billard P, Schneider R et al. Stability and toxicity of ZnO quantum dots: Interplay between nanoparticles and bacteria // *Jornal Hazard Mater*. – 2015. – Vol. 283. – p. 110–116.

75. . Yang Li, Wen Zhang, Junfebg Niu, Chen Y. Mechanism of photogenerated reactive oxygen species and correlation with the antibacterial properties of engineered metal-oxide nanoparticles // *ACS Nano*. –2012. – Vol. 6. – p. 5164–5173.

76. Karunakaran C, Rajeswari V, Gomathisankar P (2011) Enhanced photocatalytic and antibacterial activities of solgel synthesized ZnO and Ag-ZnO // *Mater Sci Semicond Process*. – 2011. – Vol. 14. – p. 133–138.

77. Hirota K, Sugimoto M, Kato M et al. Preparation of zinc oxide ceramics with a sustainable antibacterial activity under dark conditions // *Ceramic International*. - 2010. – Vol. 36. – p. 497–506.

78. Wu J.M, Kao W.T. (2015) Heterojunction nanowires of Ag<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>O-ZnO photocatalytic and antibacterial activities under visible-light and dark conditions // *J Phys Chem C*. – 2015. – Vol. 119. – p. 1433–1441.

79. Shustrov N. N., Puzach V. G., Bezenkov S. A. Experience of Using Chromium Oxide Materials in Electric Glass-Melting Furnaces // *Refractories and Industrial Ceramics*. – 2019. - V 59. – p. 441 – 444.

80. Conradt R. Prospects and physical limits of processes and technologies in glass melting // *Journal of Asian Ceramic Societies*. – 2019. – Vol. 7. – p. 377 – 396.

81. Hibscher C. W. A designer's insight into all-electric melting // *Ceramic engineering and science proceedings* // *American Ceramic Society*. – 2005. – T. 26. – p. 131 – 143.

82. С.В. Игнатов. Варка фритт в электрических печах // *ОАО*

«Институт стекла». 2011. URL: [https://glassinfo.ru/articles/2011\\_02\\_varka\\_fritt\\_v\\_elektro\\_pechah.pdf](https://glassinfo.ru/articles/2011_02_varka_fritt_v_elektro_pechah.pdf) (дата обращения: 10.04.2023).

83. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 5-2022 «Производство стекла». Приказ Росстандарта № 3159 от 13 декабря 2022 г.

84. Yang P, Yueming H, Zhenyu Lei, Hao W, Jinlong Liu, Yun Mou, Mingxiang C. Rapid and efficient preparation of phosphor-in-glass converter by induction heating for high-power white LEDs/LDs // *Materialstoday communications*. - 2021. – Vol.29. – p.102839 – 102846.

85. Schiff V. K. Mathematical modelling of the complex heat exchange of a glass melt in a cylindrical induction furnace // *Journal of Optical Technology*. – 2000. – V. 67. – Issue 9. – p. 787 – 791.

86. Ducharme R., Scarfe F., Kapadia P., Dowden J. The induction melting of glass // *Journal of Physics D: Applied Physics*. – 1991. – Vol. 24. – p. 658 – 663.

87. Arellano I., Plascencia G., Carrillo E. Design of an induction glass melting furnace by means of mathematical modelling using the finite element method // *Materials science*. – 2007. – Vol. 553. - p. 124 – 129.

88. Kazmina O., Borovoy V., Semenova V. Write vitreous enamel for ferrous metals with preliminary thermal activation of frit. «Ceramic International». 2021. T 47. V. 20. p. 28471 – 28478.

89. Rossi S., Calovi M., Velez D., Rodriguez I., del Rincon M., Munoz J.M., Grande H.J. Microstructural analysis and surface modification of a vitreous enamel modified with corundum particles // *Advanced Engineering Materials*. – 2019. – Vol. 21. – No. 8 – p. 1 – 10.

90. Song D., Tang R., Yang F., Qiao Y., Sun J., Jiang J., Ma A. Development of high-performance enamel coating on grey iron by low-temperature sintering // *Materials*. – 2018. – Vol. 11. – p. 2183.

91. Ryabova A.V., Fanda A.Yu., Yatsenko E.A., Lee M. Development of compositions of new enamel coatings with various operational and decorative properties to protect steel architectural and construction panels // *Materials Science Forum*. – 2021. – Vol. 1037. – P. 684 – 692.

92. Rossi S., Russo F., Calovi M. Durability of vitreous enamel coatings and their resistance to abrasion, chemicals, and corrosion // *Journal of Coatings Technology and Research*. – 2021. – T. 18. – P. 39 – 52.

93. Goleus V.I., Nahorna T.I., Kyslychna R.I., Naumenko S.Yu. Protective and decorative properties of titanium glass enamels // *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. – 2020. – Vol. 6. – P. 33 – 37.

94. Scrinzi E., Rossi S. The aesthetic and functional properties of enamel coatings on steel // *Materials and Design*. – 2010. – Vol. 31. – P. 4138 – 4146.

95. Rossi S, Russo F., Calovi M. The influence of the size of corundum particles on the properties of chemically resistant porcelain enamels // *Ceramics International*. – 2021. – Vol. 47. – P. 11618 – 11627.

96. Ryabova A.V., Klimova L.V., Golovko D.A. Investigation of the influence of technological regimes of high-temperature firing on the structure and properties of silicate-enamel coatings for carbon steels // *Solid state Phenomena*. – 2021. – T. 316. – P. 752–757.

97. Savvova O.V., Bragina L.L. Antibacterial composite glass coating for protection of special-purpose steel panels // *Glass and Ceramics*. – 2010. – Vol. 67. – No. 3 – 4. – P.123 – 125.

98. Jiang W., Wang Y., Gu L. Study of the antibacterial function of enamel surface with Ag element diffusion // *Materials Letters*. – 2008. – Vol. 62. – No. 2. – P. 262 – 265.

99. Russo F., Furlan B., Calovi M., Massidda O., Rossi S. Silver-based vitreous enamel coatings: Assessment of their antimicrobial activity towards *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* before and after surface degradation // *Surface and Coatings Technology*. – 2022. – T. 445. – p. 128702.

100. Huang L., Li D. – Q., Lin Y. – J., Wei M., Evans D. G., Duan X. Controllable preparation of Nano-MgO and investigation of its bactericidal properties // Journal of Inorganic Biochemistry. – 2005. – Vol. 99. – P. 986 – 993.

101. Hochmannova L., Vytrasova J. Effect of TiO<sub>2</sub> and ZnO nanoparticles on photocatalytic and antimicrobial silicate coatings // Chemické Listy. – 2010. – T. 104. - Vol. 10. – P. 940 – 944.

102. Яценко Е.А., Рябова А.В., Храменоква А.В. и др. Силикатные и электролитические полимер-оксидные покрытия медицинского назначения // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2021. – No. 2. – С. 92 – 101.

103. ГОСТ 24405-1980 «Эмали силикатные (фритты). Технические условия» ГОСТ 52569-2006 «Фритты. Технические условия».

104. ГОСТ 24788-2001 «Посуда хозяйственная стальная эмалированная. Общие технические условия».