

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-2-106-114

<sup>1,\*</sup>Бондаренко Н.И., <sup>1</sup>Пучка О.В., <sup>2</sup>Бессмертный В.С., <sup>3</sup>Чуев С.А.,  
<sup>1</sup>Изотова И.А., <sup>4</sup>Брагина Л.Л., <sup>1</sup>Яловенко Т.А.

<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

<sup>2</sup>Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

<sup>3</sup>Белгородский университет кооперации, экономики и права

<sup>4</sup>Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

\*E-mail: bondarenko-71@mail.ru

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОБЛИЦОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СМЕШАННОГО СТЕКЛОБОЯ

**Аннотация.** Разработана эффективная энергосберегающая технология получения композиционных стеклокристаллических облицовочных материалов на основе фракционированного боя листовых и тарных стекол, боя фарфора и натриевого жидкого стекла. Обосновано использование в составах композиционных стеклокристаллических облицовочных материалов тонкодисперсного порошка фарфора в количестве до 10 мас. % и жидкого натриевого стекла до 5 мас. %. Показано, что оптимальный фракционный состав гранулированного смешанного стеклобоя составляет 35 мас. % фракции 0,63–0,80 мм; 35 мас. % – фракции 0,80–1,25 мм и 30 мас. % фракции 1,25–3,15 мм. Рассчитаны полимеры вязкости бесцветного, зеленого и коричневого тарных стекол, а также листового стекла, на основе полученных зависимостей показана возможность использования смешанного стеклобоя для получения композиционных стеклокристаллических облицовочных материалов. С использованием рентгенофлуоресцентного анализа исследован химический состав листовых и тарных стёкол, фарфора. Разработаны оптимальные составы шихт, позволяющие получить стеклокристаллические материалы с прочностью на сжатие до 79 МПа. Технология получения композиционного стеклокристаллического облицовочного материала включает следующие технологические операции: измельчение боя стекла; измельчение боя фарфора; сушка жидкого натриевого стекла; рассев измельчённого боя стекла на фракции; помол измельчённого боя фарфора; помол высушенного жидкого натриевого стекла; отвешивание компонентов в соответствии с разработанными составами; усреднение фракционированного боя стекла с тонкоизмельчённым фарфором; усреднение смеси с тонкоизмельчённым высушенным жидким натриевым стеклом; укладка смеси в металлические формы; уплотнение смеси в металлических формах; термическая обработка в муфельной печи (спекание); извлечение облицовочной плитки из форм; обрезка краев плитки алмазной пилой; контроль качества готовых изделий.

**Ключевые слова:** смешанный стеклобой, бой фарфора, натриевое жидкое стекло, спекание, полимеры вязкости, прочность на сжатие.

**Введение.** В настоящее время строительная индустрия РФ требует эффективных, конкурентоспособных стеновых и облицовочных материалов [1]. Однако, использование дефицитных сырьевых материалов значительно удорожает себестоимость материалов, а в конечном итоге и стоимость 1 м<sup>2</sup> жилья [2]. Основными направлениями получения конкурентоспособной продукции являются снижение энергозатрат, частичная или полная замена дефицитных материалов местными источниками сырья и различными отходами промышленности [3–5].

Достаточно высокоэффективным сырьевым материалом может служить бой стеклянных бытовых отходов и бой различных керамических производств [6–8]. Однако, проблема сбора и переработки стеклянных бытовых отходов в РФ до настоящего времени не решена и связана с принятием в 2012 году Технического регламента Та-

моженного Союза, запрещающего вторичное использование различных видов тары, в том числе и стеклотары [9–11].

Тенденции сбора, переработки, использования и утилизации различных видов стеклянных отходов подробно освещены в многочисленных работах отечественных и зарубежных авторов [12–14]. Основным направлением переработки и утилизации стеклобоя является их использование в технологиях по производству стеновых, облицовочных, отделочных, теплоизоляционных материалов [15–17].

Различные виды цветных тарных стекол могут с успехом использоваться для получения защитно-декоративных покрытий на композиционных материалах, бетонах, силикатных материалах автоклавного твердения, керамике и стеклах [18–20]. Однако до настоящего времени в РФ не решена проблема использования смешанного

стеклобоя, а также боя различных видов керамики для получения эффективных композиционных стеклокристаллических материалов.

**Материалы и методы.** В качестве исходных материалов использовали бой стеклянных бытовых отходов, который был представлен зелёным, коричневым, бесцветным тарными листовым стеклами. В качестве упрочняющей добавки использовали бой твёрдого фарфора. В качестве добавки, снижающей температуру обжига, использовали натриевое жидкое стекло.

Химический состав используемых в работе стёкол и твёрдого фарфора исследовали рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре APL9900 «Thermoscientific».

Обоснование выбора боя твёрдого фарфора в качестве компонента в стеклокристаллическом облицовочном материале заключается в следующем. Во-первых, бой твёрдого фарфора предложено вводить в состав в качестве упрочняющего компонента, способного образовать в проектируемом стеклокристаллическом материале достаточно прочный пространственный каркас. Во-вторых, муллит в твёрдом фарфоре обеспечивает высокую прочность на сжатие и изгиб, повышенную микротвёрдость и химическую устойчивость композиционного облицовочного материала. В-третьих, бой твёрдого фарфора существенно повысит термические свойства композиционного облицовочного материала.

Повышение эксплуатационных характеристик связано с тем, что сам твёрдый фарфор имеет относительно высокую плотность (2,4–2,5 г/см<sup>3</sup>), высокую прочность на сжатие (350–370 МПа), изгиб (60–140 МПа) и растяжение (15–60 МПа). Его термический коэффициент линейного расширения лежит в пределах  $(3,8–6,7) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , а удельная теплоёмкость составляет 0,2–0,3 Дж/(кг·К). В твёрдом фарфоре содержится в среднем 55 % стеклофазы, а кристаллическая фаза представлена муллитом, кварцем и кристаллитом.

Бой цветного стекла тары и листовых стёкол подвергали измельчению в лабораторной щековой дробилке. После дробления измельченное стекло с использованием стандартного набора сит фракционировали. Крупные частицы стеклобоя размером более 3,15 мм подвергали повторному измельчению и последующему рассеву. Для получения композиционного стеклокристаллического облицовочного материала использовали фракции размером 0,63–0,80 мм, 0,80–1,25 мм, 1,25–3,15 мм.

Бой фарфоровых изделий на первом этапе также подвергали грубому измельчению в лабораторной щековой дробилке, а затем тонкому помолу в лабораторной шаровой мельнице объёмом

10 л. В качестве мелющих тел в шаровой мельнице использовали уралитовые шары. Помол производили в течение двух часов.

После подготовки фракционированного стеклобоя и тонкоизмельчённого фарфора компоненты взвешивали на лабораторных технических весах и усредняли лопастным смесителем. В состав композиционного стеклокристаллического материала с целью снижения температуры спекания вводилось натриевое жидкое стекло.

Как показали предварительные эксперименты, ввод жидкого стекла в подготовленную смесь способствовал образованию крупных отдельных комков, что не позволило усреднить жидкое натриевое стекло по всему объёму. Для равномерного его распределения в механическую смесь фракционированного стеклобоя и тонкоизмельчённого фарфора вводили термообработанное и дегидратированное жидкое стекло. Термообработку жидкого стекла производили в сушильном шкафу при температуре 105 °С в течение одного часа. Затем высушенное жидкое стекло подвергали тонкому помолу в шаровой фарфоровой мельнице объёмом 6 л в течение 30 мин. Тонкоизмельчённое жидкое стекло добавляли в смесь боя стекла и фарфора и смешивали в лабораторном лопастном смесителе в течение 15 мин. Полученную смесь укладывали в металлические формы размером 50×50 мм и уплотняли. Заполненные металлические формы помещали в муфельную печь для спекания при температурах 675–750 °С. Для исследования показателей качества края плиток обрезались алмазной пилой.

В процессе исследований была разработана типовая номенклатура потребительских свойств разработанного облицовочного материала. Номенклатура показателей качества и свойств композиционного стеклокристаллического облицовочного материала представлена в таблице 1.

Разработанная номенклатура является основой для оценки конкурентоспособности композиционного стеклокристаллического облицовочного материала.

**Основная часть.** Для обоснования выбора смешанного стеклобоя из наиболее распространённых в РФ видов стеклянных бытовых отходов были рассчитаны по известным методикам полимеры вязкости в интервале температур 600–900 °С (рис. 1).

Анализ полученных зависимостей позволяет заключить, что полимеры вязкости  $\lg \eta = f(T)$  используемых в работе стёкол практически совпадают. Это в свою очередь позволило прогнозировать образование прочного пространственного каркаса при спекании гранул смешанного стеклобоя.

Как показали исследования, содержание оксидов в тарных и листовых стеклах удовлетворило ГОСТ 111–2014 (табл. 2).

С целью снижения температуры спекания в исследовании использовалось натриевое жидкое стекло плотностью  $1,45 \text{ г/см}^3$  и силикатным модулем 2,7.

Таблица 1

### Номенклатура показателей качества и свойств композиционного стеклокристаллического облицовочного материала

Объект исследования	Размерность показателя качества	Показатели качества
Композиционный стеклокристаллический облицовочный материал	МПа	Прочность на сжатие
	МПа	Прочность на изгиб
	МПа	Микротвёрдость
	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	Термостойкость
	Гидролитический класс	Водостойкость
	$\text{г/см}^3$	Плотность
	%	Кислотостойкость
	%	Щелочестойкость
	%	Водопоглощение
	%	Пористость
	циклы	Морозостойкость

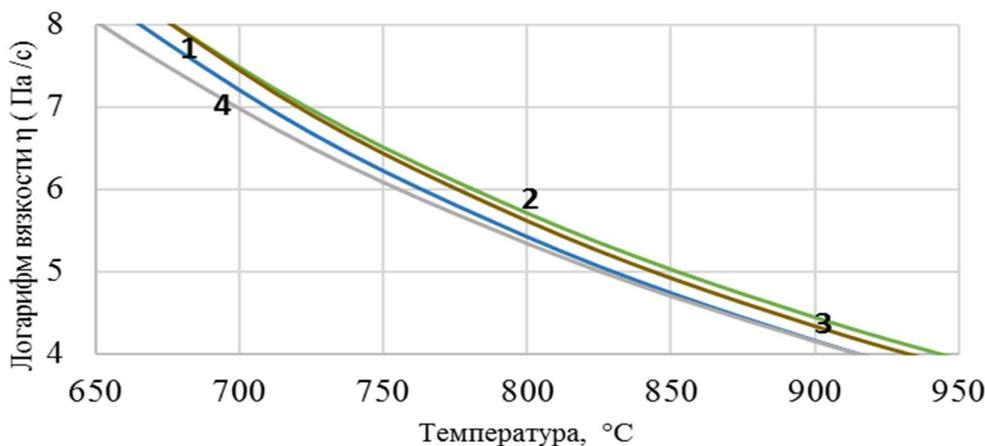


Рис.1. Политермы вязкости стекол смешанного стеклобоя:

1 – листовое стекло; 2 – тарное зеленое стекло; 3 – тарное коричневое стекло;  
4 – тарное бесцветное стекло

Таблица 2

### Химический состав стекол и твердого фарфора

№ п/п	Наименование	Химический состав, мас. %							
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
1	Листовое стекло	75,5	1,7	8,6	3,3	0,1	0,3	13,6	–
2	Тарное зеленоестекло	71,0	2,5	7,4	3,2	1,5	0,4	14,6	–
3	Тарное коричневое стекло	71,4	2,3	8,9	3,0	0,5	0,3	14,2	–
4	Тарное бесцветное стекло	72,0	2,5	7,3	3,6	0,1	0,3	14,0	–
5	Твердый фарфор	68,1	25,9	–	–	0,02	–	0,2	5,8

Для прогнозирования составов смешанные стекла и твердый фарфор измельчали и рассеивали на ситах. После отсева на фракции разработанные составы после взвешивания на аналитических весах усредняли в лабораторном смесителе, увлажняли жидким стеклом и спекали в муфельной печи.

Состав фракций гранулированного стекла и их соотношение в исходных шихтах представлен в таблице 3.

Разработанные составы помещали в муфельную печь и обжигали при температурах  $675 ^\circ\text{C}$ ,  $700 ^\circ\text{C}$ ,  $715 ^\circ\text{C}$ ,  $725 ^\circ\text{C}$ ,  $735 ^\circ\text{C}$  и  $750 ^\circ\text{C}$ . Наилучшие результаты были получены при температуре  $725 ^\circ\text{C}$ .

После термообработки исследовали эксплуатационные характеристики облицовочных стеклокристаллических материалов (табл. 4).

Таблица 3

## Фракционный состав гранулированного стекла

Шифр состава	Содержание фракций в составе, мас. %			Насыпная масса, кг/м <sup>3</sup>
	0,63–0,8 мм	0,8–1,25 мм	1,25–3,15 мм	
1	40	40	20	1438
2	35	45	20	1421
3	30	50	20	1381
4	30	40	30	1356
5	35	35	30	1419
6	40	30	30	1426
7	25	35	40	1433
8	30	30	40	1345
9	35	25	40	1365

Таблица 4

## Разработанные составы стеклокристаллического облицовочного материала и их свойства при температуре обжига 725 °С

Шифр состав	Содержание порошка фарфора, мас. %	Содержание жидкого стекла, мас. %	Прочность на сжатие, МПа	Пористость, %
1	5	2,5	20	28,1
1	10	5,0	32	27,0
2	5	2,5	24	27,3
2	10	5,0	46	25,8
3	5	2,5	28	26,5
3	10	5,0	62	20,3
4	5	2,5	38	26,9
4	10	5,0	58	21,9
5	5	2,5	42	26,3
5*	10*	5,0*	79*	16,9*
6	5	2,5	62	19,3
6	10	5,0	68	18,7
7	5	2,5	53	23,8
7	10	5,0	63	19,1
8	5	2,5	48	25,1
8	10	5,0	65	18,9
9	5	2,5	36	19,0
9	10	5,0	56	22,7

\* – оптимальный состав

Анализ полученных результатов позволяет сделать заключение, что оптимальные составы включают до 10 % тонкодисперсного твёрдого фарфора и до 5 % натриевого жидкого стекла.

Разработанная технология получения композиционного стеклокристаллического облицовочного материала представлена на рисунке 2.

**Выводы.** Разработана энергосберегающая технология получения стеклокристаллического облицовочного материала на основе боя листового и тарного стекол, боя фарфора и натриевого жидкого стекла. Показано, что оптимальный фракционный состав смешанного боя листового

стекла, бесцветной, зеленой и коричневой стеклотары составляет 35 мас. % фракции 0,63–0,8 мм; 35 мас. % фракции 0,8–1,25 мм и 30 мас. % фракции 1,25–3,15 мм. Установлено, что композит с оптимальным фракционным составом смешанного стеклобоя, включающий тонкодисперсный фарфор 10 мас. % и жидкое натриево-стекло–5 мас. %, позволяет снизить температуру обжига с 750 до 725 °С. Разработанный стеклокристаллический облицовочный материал оптимального состава обладал высокими эксплуатационными свойствами, в частности, прочностью на сжатие 79 МПа.



Рис. 2. Технология получения композиционного стеклокристаллического облицовочного материала

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондаренко Д.О., Строкова В.В., Тимошенко Т.И., Роздольская И.В. Плазмохимическое модифицирование облицовочного композиционного материала на основе полых стеклянных микросфер с защитно-декоративным покрытием // Перспективные материалы. 2018. № 8. С. 72–80.

2. Онищук В.И., Жерновая Н.Ф., Дороганов Е.А. Мозаичная смальта для строительства // Строительные материалы. 2007. № 8. С. 13–15.

3. Яценко Е.А., Смолий В.А., Гольцман Б.М., Косарев А.С. Исследование макро- и микроструктуры пеностекла на основе шлаковых отходов ТЭС // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2012. № 6. С. 127–130.

4. Смолий В.А., Яценко Е.А., Косарев А.С., Гольцман Б.М. Разработка составов и технологический параметров синтеза ячеистых теплоизоляционных строительных стекломатериалов с заданной плотностью // Стекло и керамика. 2016. № 6. С. 22–25.

5. Bondarenko D.O., Strokova V.V. Operating properties of the coating, depending on the composition during plasma-chemical modification// IOP

Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 341. Articlenumber 012141.

6. Павлушкина Т.К., Кисиленко Н.Г. Использование стекольного боя в производстве строительных материалов // Стекло и керамика. 2011. № 5. С. 27–34.

7. Lesovik V.S., Bessonov I.V., Bulgakov B.I., Larsen O.A., Puchka O.V., Vaysera S.S. Approach on improving the performance of thermal insulating and acoustic glass composites // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 463. Articlenumber 042030.

8. Dorokhova E.S., Zhernovaya N.F., Bessmertnyi V.S., Zhernovoi F.E., Tarasova E.E. Control of the structure of porous glass-ceramic material // Glass and Ceramics. 2017. Vol. 74. Issue 3–4. Pp. 95–98.

9. Dorokhova E.S., Zhernovoi F.E., Izotova I.A., Bessmertnyi V.S., Zhernovaya N.F., Tarasova E.E. Shrink-free face material based on cullet and colemanite // Glass and Ceramics. 2016. Vol. 73. Issue 3–4. P. 103–106.

10. Yatsenko E.A., Smolii V.A., Kosarev A.S., Dzyuba E.B., Grushko I.S., Gol'Tsman B.M. Physical-chemical properties and structure of foamed slag glass based on thermal power plant wastes // Glass and Ceramics. 2013. Vol. 70. Issue 1–2. Pp. 3–6.

11. Yatsenko E.A., Zubekhin A.P., Smolii V.A., Grushko I.S., Kosarev A.S., Goltsman B.M. Resource-conserving technology of heat-insulation-decorative glass-composite material based on ash-slag wastes // *Glass and Ceramics*. 2015. Vol. 72. Issue 5–6. Pp. 216–219.

12. Болотин В.Н., Минько Н.И. Стеклобой. Вторая жизнь // *Стекло мира*. 1997. №4. С. 57–62.

13. Минько Н.И., Добринская О.А. Технологические особенности использования стеклобоя в производстве стекломатериалов // *Техника и технология силикатов*. 2019. Т. 26. № 1. С. 9–14.

14. Min'ko N.I., Dobrinskaya O.A., Bulgakov A.S. Technological features of using secondary products in the production of silicate materials // *Glass Physics and Chemistry*. 2018. Vol. 44. Issue 3. Pp. 238–243.

15. Лесовик В.С., Пучка О.В., Вайсера С.С., Елистраткин М.Ю. Новое поколение строительных композитов на основе пеностекла // *Строительство и реконструкция*. 2015. № 3 (59). С. 146–154.

16. Пучка О.В., Сергеев С.В., Вайсера С.С., Калашников Н.В. Высокоэффективные тепло-

изоляционные материалы на основе техногенного сырья // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2013. № 2. С. 51–55.

17. Минько Н.И., Губарев А.В., Губарева О.А. Окрашенные формы шлаков силикомарганцевого производства для изготовления стеклокристаллических материалов // *Стекло и керамика*. 2000. №7. С.8–10.

18. Bondarenko D.O., Bondarenko N.I., Bessmertnyi V.S., Strokova V.V. Plasma-chemical modification of concrete // *Advances in Engineering Research*. 2018. Vol. 157. Pp. 105–110.

19. Volokitin O., Volokitin G., Skripnikova N., Shekhovtsov V. Plasma technology for creation of protective and decorative coatings for building materials // *AIP Conference Proceedings*. 2016. Vol. 1698. Article number 070022.

20. Пучка О.В., Минько Н.И., Степанова М.Н. Композиционный теплоизоляционный материал на основе пеностекла с защитно-декоративным покрытием по лицевой поверхности // *Стекло и керамика*. 2009. № 2. С. 3–5.

#### *Информация об авторах*

**Бондаренко Надежда Ивановна**, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технологии стекла и керамики. E-mail: bondarenko-71@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Пучка Олег Владимирович**, кандидат технических наук, профессор кафедры стандартизации и управления качеством. E-mail: oleg8a@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Бессмертный Василий Степанович**, доктор технических наук, профессор кафедры технологии оборудования машиностроения и металлургии. E-mail: vbessmertnyi@mail.ru. Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». Россия, 309516, г. Старый Оскол, Белгородская обл., микрорайон Макаренко, д. 42.

**Чув Сергей Александрович**, кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры технологии общественного питания и товароведения. E-mail: sprint@ru. Белгородский университет кооперации, экономики и права. Адрес: Россия, 308023, Белгород, ул. Садовая, д. 116а.

**Изотова Ираида Александровна**, аспирант кафедры технологии стекла и керамики. E-mail: iren.izotova@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Брагина Людмила Лазаревна**, доктор технических наук, профессор кафедры технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей. E-mail: bragina\_l@ukr.net. Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт». Украина, 61002, Харьков, ул. Кирпичева, д. 2.

**Яловенко Татьяна Андреевна**, магистрант кафедры технологии стекла и керамики. E-mail: jalovenko@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

*Поступила в ноябре 2019 г.*

©Бондаренко Н.И., Пучка О.В., Бессмертный В.С., Чув С.А., Изотова И.А., Брагина Л.Л., Яловенко Т.А., 2020

<sup>1,\*</sup>Bondarenko N.I., <sup>1</sup>Puchka O.V., <sup>2</sup>Bessmertnyi V.S., <sup>3</sup>Chuev S.A., <sup>1</sup>Izotova I.A.,  
<sup>4</sup>Bragina L.L., <sup>1</sup>Yalovenko T.A.

<sup>1</sup>State Technological University named after V.G. Shukhov

<sup>2</sup>Star Oskol Technological Institute. A.A. Ugarova (branch)  
National Research Technological University "MISiS"

<sup>3</sup>Belgorod University of Cooperation, Economics and Law

<sup>4</sup>National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute"

\* E-mail: bondarenko-71@mail.ru

## TECHNOLOGY FOR PRODUCING COMPOSITE GLASS-CRYSTAL FACING MATERIALS BASED ON MIXED CULLET

**Abstract.** An effective energy-saving technology for producing composite glass-crystal facing materials based on fractionated cullet of sheet and container glasses, cullet of porcelain and sodium liquid glass has been developed. The use of fine porcelain powder in the composition of composite glass-crystal facing materials in an amount of up to 10 wt % is justified. % and liquid sodium glass up to 5 wt. %. It is shown that the optimal fractional composition of granulated mixed cullet is 35 wt. % fraction 0.63–0.80 mm; 35 wt. % – fractions of 0.80–1.25 mm and 30 wt. % fraction of 1.25–3.15 mm. Polytherms of viscosity of colorless, green and brown container glasses, as well as sheet glass, are calculated. The possibility of using mixed cullet for obtaining composite glass-crystal facing materials is on the basis of obtained dependencies. The chemical composition of sheet and container glasses and porcelain is studied using x-ray fluorescence analysis. Optimal charge compositions have been developed to obtain glass-crystal materials with compressive strength up to 79 MPa. The technology of obtaining composite glass-ceramic facing material includes the following technological operations: milling of glass breakage; grinding cullet of porcelain; drying of sodium liquid glass; the screening of crushed cullet on fractions; the grind of crushed cullet of China; grinding the dried sodium silicate glass; weighing the components in accordance with the developed formulations, the averaging of the graded cullet with fine porcelain; averaging the mixture of finely ground dried sodium silicate glass; stacking the mixture in a metal mold; compaction of the mixture in metal molds; heat treatment in a muffle furnace (sintering); extraction of facing tiles from molds; trimming the edges of the tiles with a diamond saw; quality control of finished products.

**Keywords:** mixed cullet, porcelain cullet, sodium liquid glass, sintering, polytherms of viscosity, compressive strength.

### REFERENCES

1. Bondarenko D.O., Strokova V.V., Timoshenko T.I., Rozdol'skaya I.V. Plasma-chemical modification of facing composite material on the basis of hollow glass microspheres with protective and decorative coating Surface modification of corundum ceramics by argon ion beam [Plazmokhimicheskoye modifitsirovaniye oblitsovochnogo kompozitsionnogo materiala na osnove polykh steklyannykh mikrosfer s zashchitno-dekorativnym pokrytiyem]. Perspektivnye Materialy. 2018. No. 8. Pp. 72–80. (rus)
2. Onishchuk V.I., Zhernovaya N.F., Dorogonov E.A. Mosaic smalt for construction [Mozaichnaya smal'ta dlyastroitel'stva]. Stroitel'nye Materialy. 2007. No. 8. Pp. 13–15. (rus)
3. Yatsenko E.A., Smolii V.A., Goltsman B.M., Kosarev A.S. Investigation of the macro- and microstructure of foamed glass on the basis of slag wastes from TES [Issledovaniye makro- i mikrostruktury penostekol na osnove shlakovykh othodov TES]. University News. North-Caucasian Region. Technical Sciences Series. 2012. No. 6. Pp. 127–130. (rus)
4. Smolii V.A., Yatsenko E.A., Kosarev A.S., Goltsman B.M. Development of compositions and technological parameters for the synthesis of cellular glass heat-insulation construction materials with prescribed density [Razrabotka sostavov i tekhnologicheskij parametrov sinteza yacheistyh teploizolyacionnyh stroitel'nyh steklomaterialov s zadannoj plotnost'yu]. Glass and Ceramics. 2016. No. 6. Pp. 22–25. (rus)
5. Bondarenko D.O., Strokova V.V. Operating properties of the coating, depending on the composition during plasma-chemical modification. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 341. Article number 012141.
6. Pavlushkina T.K., Kisilenko N.G. Using of the glass cut in the manufacture of building materials [Ispol'zovanie stekol'nogo boya v proizvodstve stroitel'nyh materialov]. Glass and Ceramics. 2011. No. 5. Pp. 27–34. (rus)
7. Lesovik V.S., Bessonov I.V., Bulgakov B.I., Larsen O.A., Puchka O.V., Vaysera S.S. Approach on improving the performance of thermal insulating and acoustic glass composites. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 463. Article number 042030.

8. Dorokhova E.S., Zhernovaya N.F., Bessmertnyi V.S., Zhernovoi F.E., Tarasova E.E. Control of the structure of porous glass-ceramic material. *Glass and Ceramics*. 2017. Vol. 74. Issue 3–4. Pp. 95–98.
9. Dorokhova E.S., Zhernovoi F.E., Izotova I.A., Bessmertnyi V.S., Zhernovaya N.F., Tarasova E.E. Shrink-free face material based on cullet and colemanite. *Glass and Ceramics*. 2016. Vol. 73. Issue 3–4. Pp. 103–106.
10. Yatsenko E.A., Smolii V.A., Kosarev A.S., Dzyuba E.B., Grushko I.S., Gol'tsman B.M. Physical-chemical properties and structure of foamed slag glass based on thermal power plant wastes. *Glass and Ceramics*. 2013. Vol. 70. Issue 1–2. P. 3–6.
11. Yatsenko E.A., Zubekhin A.P., Smolii V.A., Grushko I.S., Kosarev A.S., Gol'tsman B.M. Resource-conserving technology of heat-insulation-decorative glass-composite material based on ash-slag wastes. *Glass and Ceramics*. 2015. Vol. 72. Issue 5–6. Pp. 216–219.
12. Bolotin V.N., Minko N.I. Cullet. *Second Life [Steklobyy. Vtorayazhizn']*. *Glass world*. 1997. No. 4. Pp. 57–62. (rus)
13. Min'ko N.I., Dobrinskaya O.A. Technological features of the use of glass in the manufacture of glass materials [Tekhnologicheskie osobennosti ispol'zovaniya stekloboya v proizvodstve steklomaterialov]. *Technique and technology of silicates*. 2019. Vol. 26. No. 1. Pp. 9–14. (rus)
14. Min'ko N.I., Dobrinskaya O.A., Bulgakov A.S. Technological features of using secondary products in the production of silicate materials. *Glass Physics and Chemistry*. 2018. Vol. 44. Issue 3. Pp. 238–243.
15. Lesovik V.S., Puchka O.V., Vajsera S.S., Elistratkin M.Yu. Building a new generation of composites on the basis of foamed glass [Novoe pokolenie stroitel'nykh kompozitov na osnove penostekla]. *Building and Reconstruction*. 2015. No. 3 (59). Pp. 146–154. (rus)
16. Puchka O.V., Sergeev S.V., Vajsera S.S., Kalashnikov N.V. High-efficiency heat-insulation materials on basis of technogenic raw material [Vysokoeffektivnye teploizolyacionnye materialy na osnove tekhnogennogo syr'ya]. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2013. No. 2. Pp. 51–55. (rus)
17. Min'ko N.I., Gubarev A.V., Gubareva O.A. Colored slags of silicate manganese production for manufacturing glass-ceramic materials [Okrashennyye formy shlakov silikomargancevogo proizvodstva dlya izgotovleniya steklo-kristallicheskih materialov]. *Glass and Ceramics*. 2000. No. 7. Pp. 8–10. (rus)
18. Bondarenko D.O., Bondarenko N.I., Bessmertnyi V.S., Stokova V.V. Plasma-chemical modification of concrete. *Advances in Engineering Research*. 2018. Vol. 157. P. 105–110.
19. Volokitin O., Volokitin G., Skripnikova N., Shekhovtsov V. Plasma technology for creation of protective and decorative coatings for building materials. *AIP Conference Proceedings*. 2016. Vol. 1698. Article number 070022.
20. Puchka O.V., Min'ko N.I., Stepanova M.N. Foam-glass based composite heat-insulating material with a protective-decorative coating on the front surface [Kompozicionnyj teploizolyacionnyj material na osnove penostekla s zashchitno-dekorativnym pokrytiem po licevoj poverhnosti]. *Glass and Ceramics*. 2009. No. 2. Pp. 3–5. (rus)

#### *Information about the authors*

**Bondarenko, Nadezhda I.** PhD, Associate professor. E-mail: bondarenko-71@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Puchka, Oleg V.** PhD, Professor. E-mail: oleg8a@mail.ru. Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova st., 46.

**Bessmertnyi, Vasily S.** DSc, Professor. E-mail: vbessmertnyi@mail.ru. Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarova (branch) "National University of Science and Technology "MISIS». Russia, 309516, Sary Oskol, Belgorod region, Makarenko microdistrict, 42.

**Chuev, Sergey A.** PhD, Senior lecturer. E-mail: sprint @ .ru. Belgorod University of Cooperation, Economics and Law. Russia, 308023, Belgorod, ul. Sadovaya, 116a.

**Izotova, Iraida A.** Postgraduate student. E-mail: iren.izotova@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Bragina, Lyudmila L.** DSc, Professor. E-mail: bragina\_1@ukr.net. National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". Ukraine, 61002, Kharkov, st. Kirpicheva, 2.

---

**Yalovenko, Tatyana A.** Master student. E-mail: jalovencko@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

---

*Received in November 2019*

**Для цитирования:**

Бондаренко Н.И., Пучка О.В., Бессмертный В.С., Чуев С.А., Изотова И.А., Брагина Л.Л., Яловенко Т.А. Технология получения композиционных стеклокристаллических облицовочных материалов на основе смешанного стеклобоя // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 2. С. 106–114. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-2-106-114

**For citation:**

Bondarenko N.I., Puchka O.V., Bessmertnyi V.S., Chuev S.A., Izotova I.A., Bragina L.L., Yalovenko T.A. Technology for producing composite glass-crystal facing materials based on mixed cullet. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 2. Pp. 106–114. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-2-106-114