

*Канд. техн. наук В. В. Мартыненко,  
д-р техн. наук В. В. Примаченко, канд. техн. наук И. Г. Шулик,  
канд. техн. наук С. В. Чаплянко, Л. П. Ткаченко  
(ПАО «УКРНИИ ОГНЕУПОРОВ ИМ. А. С. БЕРЕЖНОГО»,  
г. Харьков, Украина)*

## **Специальные вибролитые муллитокремнеземистые огнеупоры с заданными свойствами для стекловаренных печей**

### **Введение**

В ряде стекловаренных печей, в частности, на предприятиях по производству стекловолокна, в переходном слое футеровки применяют крупногабаритные вибролитые муллитокремнеземистые огнеупоры большого количества конфигураций с размерами от 352×323×102 до 782×680×203, весом от 11 до 250 кг. Примерные требования к качеству этих огнеупоров приведены в табл. 1.

*Таблица 1*

**Примерные требования к показателям свойств муллитокремнеземистых  
огнеупоров для переходного слоя футеровки стекловаренных печей**

Наименование свойств	Показатели свойств
Массовая доля, % : Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	45—55
SiO <sub>2</sub>	40—45
Кажущаяся плотность, г/см <sup>3</sup>	2,20—2,35
Открытая пористость, %	18—20
Предел прочности при сжатии, Н/мм <sup>2</sup>	40—60
Теплопроводность при 400–800°С Вт/(м·К)	1,55—1,95

В ПАО «УКРНИИ ИМЕНИ А. С. БЕРЕЖНОГО» разработаны технологии изготовления указанных огнеупоров двух видов — бесцементных и низкоцементных (об этом кратко сообщалось в работе [1]). Учитывая, что наиболее эффективным для изготовления крупногабаритных огнеупоров является способ вибролитья (впервые разработанный в нашем институте [2]),

технологии бесцементных и низкоцементных муллитокремнеземистых огнеупоров разработаны с использованием этого способа.

Одним из основных этапов разработки технологии вибролитых огнеупоров является исследование реологических свойств виброподвижных масс (растекаемости) и процессов структурообразования, протекающих в них [3—8]. Результаты этих исследований позволяют установить оптимальную влажность вибролитых масс и возможное время их хранения.

В настоящей работе подробно изложены результаты исследований по разработке специальных вибролитых муллитокремнеземистых огнеупоров с заданными свойствами для стекловаренных печей.

## Экспериментальная часть

При проведении исследований в качестве сырьевых материалов применяли: каолин кальцинированный (далее по тексту — шамот) марки ШК-44 по ТУ У 14.2-00191916-001:2005 с изм. № 1—3 производства ПАО «Ватутинский комбинат огнеупоров»; глинозем марки Salox M-S1 с содержанием  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  93—95 % производства MAL Hungarian Aluminum Production and Trade Limited Company by Shares (Венгрия); высокоглиноземистый цемент марки ВГЦ-73 с удельной поверхностью 5930 см<sup>2</sup>/г по ТУ У 23.2-00190503-408:2015, изготавливаемый в ПАО «УКРНИИО ИМЕНИ А. С. БЕРЕЖНОГО». В качестве диспергирующей добавки применяли Castament марок FS-10 и FW-10 производства «BASF Construction Solutions GmbH» (Германия).

Глинозем подвергали помолу в вибромельнице до содержания частиц размером <10 мкм не менее 85—90 %.

Составы шихт приведены в табл. 2.

Таблица 2

Составы муллитокремнеземистых шихт

Наименование материала	Шихта № / Содержание материалов, % *						
	1	2	3	4	5	6	7
Шамот с максимальным размером зерна 3 мм	90,0	87,5	85,0	90,0	87,5	85,0	80,0
Глинозем	10,0	12,5	15,0	10,0	12,5	15,0	15,0
Высокоглиноземистый цемент	—	—	—	—	—	—	5,0
Диспергатор Castament (сверх 100 %)	0,2						

\* Содержание шамота фракции 3—0,5 мм в шихтах № 1, 2 и 3 составляет 50 %, в шихтах № 4, 5, 6 и 7 — 60 %.

Образцы-кубы размером  $50 \times 50 \times 50$  мм формовали в формы (гипсовые — для шихт 1—6, металлические с картонными вкладышами — для шихты 7) при вибрации, характеризующейся амплитудой колебаний 0,5 мм и частотой 50 Гц. После извлечения из форм образцы выдерживали при комнатной температуре в течение 3 дней и сушили при температуре 50 °С. Обжиг образцов осуществляли в лабораторной печи при температурах 1350, 1400, 1450 °С с выдержкой 2 ч.

Определение открытой пористости и кажущейся плотности образцов осуществляли по ДСТУ ISO 5017:2014 (для необожженных образцов использовали керосин), предела прочности при сжатии — по ГОСТ 4071.1—94 (ISO 8895-86), изменение линейных размеров — по ДСТУ ГОСТ 166:2009 (ISO 3599-76)), теплопроводности — по ГОСТ 12170—85.

Химический состав образцов определяли методами химического анализа в соответствии с существующими стандартами.

Определение текучести при вибрации зернистых масс (растекаемости) осуществляли согласно методике определения растекаемости бетонов для неформованных огнеупоров [9]. По данной методике определяли диаметр круга, образовавшегося после приложения вибрации на вибростоле, из массы, первоначально уплотненной в металлической форме в виде усеченного конуса высотой 80 мм и диаметрами: верхним 70 мм, нижним — 100 мм. Заполнение формы массой осуществляли при вибрации с амплитудой колебаний 0,5 мм и частоте 50 Гц. После полного заполнения массой формы и отключения вибростола последнюю снимали. Затем вибростол повторно включали при указанных параметрах вибрации на 30 секунд и проводили замеры максимального и минимального диаметров растекшейся массы, после чего определяли средний диаметр. Определения повторяли не менее трех раз. Растекаемость массы ( $D_p$ ) определяли согласно формуле:

$$D_p = \frac{D_b - D_0}{D_0} \cdot 100 \%,$$

где  $D_0$  — первоначальный нижний диаметр конуса массы, 100 мм;  $D_b$  — средний диаметр растекшейся массы после приложения вибрации, мм.

Исследование растекаемости при вибрации в зависимости от времени хранения массы осуществляли от момента приготовления до отсутствия течения под действием вибрации. Массы в течение эксперимента хранили в эксикаторах. Температура воздуха при проведении исследования составляла 18 °С.

## Результаты и их обсуждение

Результаты исследований влияния количества в шихте глинозема и шамота фракции 3—0,5 мм на показатели свойств бесцементных масс (шихты № 1—6) и высушенных образцов из этих шихт приведены на рис. 1 и 2.

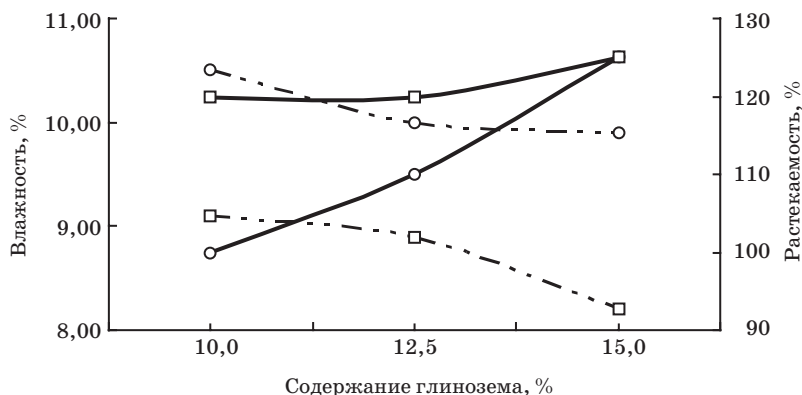


Рис. 1. Влияние количества глинозема и шамота фракции 3—0,5 мм на влажность (---) и растекаемость (—) вибролитых бесцементных масс, где: о — содержание в шихте шамота фракции 3—0,5 мм составляет 50 %, □ — 60 %

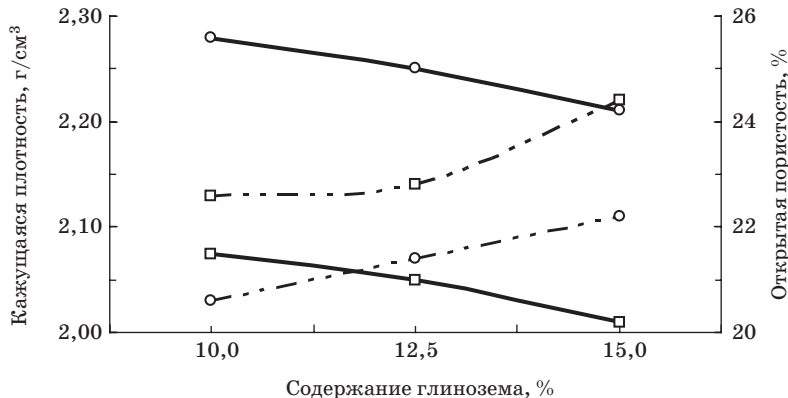


Рис. 2. Влияние количества глинозема и шамота фракции 3—0,5 мм на кажущуюся плотность (---) и открытую пористость (—) высушенных бесцементных образцов, где: о — содержание в шихте шамота фракции 3—0,5 мм составляет 50 %, □ — 60 %

Как видно из рис. 1 и 2, при увеличении в шихте содержания глинозема (от 10 до 15 %) и шамота фракции 3—0,5 мм (от 50 до 60 %) уменьшается соответственно влажность масс (от

10,5 до 9,9 % и от 9,1 до 8,2 %) и увеличивается их растекаемость при вибрации (от 100 до 125 % и от 120 до 125 %), а также увеличивается кажущаяся плотность (от 2,03 до 2,11 г/см<sup>3</sup> и от 2,13 до 2,22 г/см<sup>3</sup>) и уменьшается открытая пористость (от 25,6 до 24,2 % и от 21,5 до 20,2 %) высушенных бесцементных образцов. Полученные результаты свидетельствуют об улучшении упаковки частиц в массах при увеличении в них количества глинозема и шамота фракции 3—0,5 мм.

Предел прочности при сжатии сырца высушенных бесцементных образцов при увеличении содержания глинозема и шамота фракции 3—0,5 мм в шихте увеличивается и составляет: 0,3; 0,4; 0,4 Н/мм<sup>2</sup> для шихт № 1, 2, 3 и 0,3; 0,4; 0,6 Н/мм<sup>2</sup> для шихт № 4, 5, 6. Оптимальной, с точки зрения комплекса свойств, является шихта № 6, содержащая 15 % глинозема и 60 % шамота фракции 3—0,5 мм.

Свойства низкоцементной массы (шихта № 7) и высушенных образцов из нее приведены в табл. 3.

Таблица 3

Свойства низкоцементной массы и высушенных образцов из нее

Наименование свойств	Показатели свойств
Свойства массы:	
влажность, %	7,5
растекаемость, %	130
Свойства высушенных образцов:	
кажущаяся плотность, г/см <sup>3</sup>	2,24
открытая пористость, %	18,2
предел прочности при сжатии, Н/мм <sup>2</sup>	7,5

Как видно из табл. 3, введение цемента позволяет увеличить значение показателя предела прочности при сжатии сырца в 12,5 раза.

Результаты исследования растекаемости при вибрации бесцементной (шихта № 6) и низкоцементной (шихты № 7) масс в зависимости от времени их хранения приведены на рис. 3.

Как видно из рис. 3, характер изменения растекаемости бесцементной массы аналогичен массам, содержащим диспергатор Castament марок FS-10 и FW-10 [3, 4] либо диспергирующие глиноземы ADS-1 и ADW-1 [5, 6], и для масс различного вещественного состава отличается только длительностью этапов образования структуры: на первом этапе длительностью ~ 4 ч для бесцементной массы и ~ 2 ч для низкоцементной массы образуется непрочная тиксотропная коагуляционная структу-

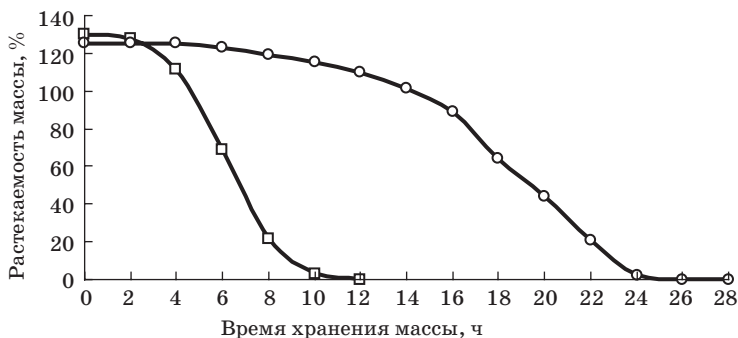


Рис. 3. Зависимость растекаемости при вибрации от времени хранения бесцементной (—○—) и низкоцементной (—□—) масс

ра, обеспечивающая высокую растекаемость масс; на втором этапе, одновременно с тиксотропной коагуляционной структурой в обеих массах начинает развиваться значительно более прочная нетиксотропная конденсационная структура (за счет набухания и поглощения практически всей содержащейся в массе воды органическим полимерным веществом, которое входит в состав диспергатора), а в низкоцементной массе наряду с коагуляционно-конденсационной структурой дополнительно начинает развиваться еще и кристаллизационная структура за счет, как известно [10], гидратации алюминатов кальция, содержащихся в цементе, с образованием кристаллов гидроалюминатов кальция; на третьем этапе, после ~ 24 ч для бесцементной массы и ~ 10 ч для низкоцементной массы растекаемость практически полностью прекращается и бесцементная масса имеет только конденсационную структуру, а низкоцементная масса — конденсационно-кристаллизационную структуру.

Для обеспечения качественного вибролитья изделий (формирования четкой конфигурации ребер, граней, закруглений) растекаемость масс не должна быть менее 80 % в установленном диапазоне рабочей растекаемости вибролитых масс [7, 8, 11]. Для бесцементной алюмосиликатной массы растекаемость снижается ниже требуемой спустя 16 ч после приготовления (время «формовочной живучести»), однако наиболее эффективно применение массы в течение первых 4—6 ч (см. рис. 3). Для низкоцементной массы растекаемость снижается ниже требуемой спустя ~ 5 ч после приготовления, однако наиболее эффективно применение массы в течение первых 2 ч.

В целом, в результате проведенных исследований установлены следующие технологические факторы вибролитья бесце-

ментной и низкоцементной муллитокремнеземистых масс, соответственно:

— время эффективной растекаемости  $\sim 6$  и  $\sim 2$  ч;

— время «формовочной живучести»  $\sim 16$  и  $\sim 5$  ч.

Результаты исследований влияния температуры обжига на показатели свойств бесцементных (шихта № 6) образцов приведены в табл. 4, низкоцементных (шихта № 7) — в табл. 5.

Таблица 4

Влияние температуры обжига на показатели свойств бесцементных муллитокремнеземистых образцов

Температура обжига, °С	Показатели свойств			
	Усадка линейная, %	Открытая пористость, %	Кажущаяся плотность, г/см <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, Н/мм <sup>2</sup>
1350	0,0	19,3	2,24	48
1400	0,0	19,2	2,25	50
1450	0,0	20,2	2,21	68

Таблица 5

Влияние температуры обжига на показатели свойств низкоцементных муллитокремнеземистых образцов

Температура обжига, °С	Показатели свойств			
	Рост линейный, %	Открытая пористость, %	Кажущаяся плотность, г/см <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, Н/мм <sup>2</sup>
1350	+0,4	20,3	2,21	69
1400	+1,0	21,3	2,17	76
1450	+1,5	20,7	2,19	77

Как видно из данных табл. 4 и 5, оптимальная температура обжига бесцементных муллитокремнеземистых образцов составляет 1450 °С (исходя из максимального значения предела прочности при сжатии), для низкоцементных — 1350 °С (исходя из минимального значения линейного роста образцов).

По химическому составу обожженные бесцементные и низкоцементные образцы представлены, соответственно: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 52,36 и 53,79 %, SiO<sub>2</sub> — 46,11 и 45,19 %, CaO — 0,09 и 1,12 %, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 1,10 и 1,06 %. Теплопроводность муллитокремнеземистых образцов при 400—800 °С составляет 1,237—1,637 Вт/(м·К).

Таким образом, в результате выполненных исследований разработаны технологии и получены специальные вибролитые муллитокремнеземистые бесцементные и низкоцементные огнеупоры, характеризующиеся высокими заданными показателями свойств.

## Выводы

Разработаны технологии изготовления специальных крупногабаритных вибролитых бесцементных (на основе шамота и глинозема) и низкоцементных (на основе шамота, глинозема и высокоглиноземистого цемента) муллитокремнеземистых огнеупоров с заданными свойствами для кладки боковых стен и подины стекловаренных печей и других мест применения. Установлены оптимальные составы шихт. Изучена растекаемость при вибрации бесцементной и низкоцементной масс в зависимости от времени их хранения, в результате чего установлены этапы структурообразования, а также технологические факторы, обеспечивающие качественное вибролитье изделий (время эффективной растекаемости и время «формовочной живучести»). Разработанные бесцементные и низкоцементные огнеупоры по показателям свойств полностью отвечают заданным требованиям: массовая доля  $Al_2O_3$  — 52,58 % и 53,83 %,  $SiO_2$  — 46,11 % и 45,19 %,  $CaO$  — 0,09 и 1,12 %,  $Fe_2O_3$  — 1,10 и 1,06 %; кажущаяся плотность — 2,21 г/см<sup>3</sup>, открытая пористость — 20,2 % и 20,3 %, предел прочности при сжатии — 68 Н/мм<sup>2</sup> и 69 Н/мм<sup>2</sup>, теплопроводность (при 400—800 °С) 1,237—1,637 Вт/м·К.

## Библиографический список

1. Вибролитой крупногабаритный алюмосиликатный огнеупор для футеровки стекловаренной печи / Примаченко В. В., Шулик И. Г., Чаплянко С. В., Ткаченко Л. П. // *Технология и применение огнеупоров и технической керамики в промышленности* : междунар. науч.-техн. конф., Харьков, 25—26 апр. 2017 : тез. докл. Х. : Вид. Рожко С. Г., 2017. С. 4—5.
2. Исследования по разработке новой технологии производства крупногабаритных изделий методом вибролитья из зернистых масс / Примаченко В. В. // *Повышение качества и стойкости огнеупоров в тепловых агрегатах и снижение их расхода в народном хозяйстве* : всесоюз. науч.-техн. конф., Донецк, 1977 г. : тез. докл. М. : ЦНИИТЭИЧМ, 1977. С. 36—37.
3. Исследование структурно-реологических свойств вибролитых зернистых масс из  $ZrO_2$ , стабилизированного  $CaO$ , в зависимости от вида и количества диспергирующих добавок / Примаченко В. В., Мартыненко В. В., Шулик И. Г., Кущенко П. А., Семенов О. М., Шишковский Д. А. // *Зб. наук. пр. ПАТ «УКРНДІ ВОГНЕТРИВІВ ІМ. А. С. БЕРЕЖНОГО»*. Х. : ПАТ «УКРНДІ ВОГНЕТРИВІВ ІМ. А. С. БЕРЕЖНОГО», 2013. № 113. С. 3—13.
4. Исследования микроструктуры в глиноземистых и глиноземхромоксидных суспензиях с добавками диспергаторов / Примаченко В. В., Карякина Э. Л., Шулик И. Г., Гальченко Т. Г., Гринева Н. И. // *Зб. наук. пр. ПАТ «УКРНДІ ВОГНЕТРИВІВ ІМ. А. С. БЕРЕЖНОГО»*. Х. : ПАТ «УКРНДІ ВОГНЕТРИВІВ ІМ. А. С. БЕРЕЖНОГО», 2012. № 112. С. 23—33.
5. Исследование влияния некоторых технологических факторов на образование структур в вибролитых крупнозернистых массах корундового состава с до-



бавкой  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  / Примаченко В. В., Шулик И. Г., Гальченко Т. Г., Гринева Н. И. // *Зб. наук. пр. ПАТ «УКРНДІ ВОГНЕТРИВІВ ІМ. А. С. БЕРЕЖНОГО»*. Х. : ПАТ «УКРНДІ ВОГНЕТРИВІВ ІМ. А. С. БЕРЕЖНОГО», 2011. № 111. С. 3—15.

6. Исследование структурно-реологических свойств вибролитой зернистой корундооксидироконийсиликатной массы и освоение технологии изготовления из нее тиглей / Примаченко В. В., Чаплянко С. В., Мартыненко В. В., Шулик И. Г., Ткаченко Л. П. // *Зб. наук. пр. ПАТ «УКРНДІ ВОГНЕТРИВІВ ІМ. А. С. БЕРЕЖНОГО»*. Х. : ПАТ «УКРНДІ ВОГНЕТРИВІВ ІМ. А. С. БЕРЕЖНОГО», 2013. № 113. С. 20—26.

7. Исследование влияния диспергирующих глиноземов фирмы «Алматис» на свойства корундошпинельных тиглей / Чаплянко С. В., Устиченко В. А., Примаченко В. В. // *Вісник НТУ «ХПИ»*. Х. : НТУ «ХПИ», 2004. № 40. С. 30—36.

8. Освоение технологии изготовления способом вибролитья сложнофасонного крупногабаритного шибера нового типоразмера / Примаченко В. В., Шулик И. Г., Чаплянко С. В., Ткаченко Л. П. // *Зб. наук. пр. ПАТ «УКРНДІ ВОГНЕТРИВІВ ІМ. А. С. БЕРЕЖНОГО»*. Х. : ПАТ «УКРНДІ ВОГНЕТРИВІВ ІМ. А. С. БЕРЕЖНОГО», 2015. № 115. С. 23—29.

9. ISO 1927-4:2012. *Monolithic (unshaped) refractory products — Part 4: Determination of consistency of castables*. Geneva : ISO, 2012. 12

10. *Глиноземистый цемент* / Т. В. Кузнецова, Й. Талабер. М. : Стройиздат, 1988. 268 с.

11. Исследование по получению высококачественных вибролитых муллитокорундовых изделий с использованием глиноземов с содержанием  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 > 90\%$  различных производителей / Примаченко В. В., Шулик И. Г., Чаплянко С. В., Грицюк Л. В., Карякина Э. Л. // *Зб. наук. пр. ПАТ «УКРНДІ ВОГНЕТРИВІВ ІМ. А. С. БЕРЕЖНОГО»*. Х. : ПАТ «УКРНДІ ВОГНЕТРИВІВ ІМ. А. С. БЕРЕЖНОГО», 2011. № 111. С. 52—61.

## References (transliterated)

1. Primachenko V. V., Shulik I. G., Chaplyanko S. V., Tkachenko L. P. Vibrolitoy krupnogabaritnyy aluminosilikatnyy ogneupor dlya futerovki steklovarennoy pechi [Vibrocast large-size aluminosilicate refractory for glass furnace lining]. *Tekhnologiya i primeneniye ogneuporov i tekhnicheskoy keramiki v promyshlennosti. Tezisy dokladov mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, 25—26 aprelya 2017, Kharkov* [Technology and application refractories and technical ceramics in industry. Abstracts of Intern. Sci.-Tech. Conf., 25—26 Apr. 2017, Kharkov]. Kharkov: Rozhko S. G. Publ., 2017, pp. 4—5 (in Russian).

2. Primachenko V. V. Issledovaniya po razrabotke novoy tekhnologii proizvodstva krupnogabaritnykh izdeliy metodom vibrolit'ya iz zernistykh mass [Research on the development of a new technology for the production of large-sized products by the method of vibro-casting from granular masses]. *Povysheniye kachestva i stoykosti ogneuporov v teplovykh agregatakh i snizheniye ikh rashoda v narodnom khozyaystve: vsoyuz. nauch.-tekhnich. konf., Donetsk, 1977 g.: tez. dokl.* [Improving the quality and durability of refractories in thermal units and reducing their consumption in the national economy. Abstracts of All-Union. Sci.-Tech. Conf., Donetsk, 1977]. Moscow: TsNIIChM Publ., 1977, pp. 36—37 (in Russian).

3. Primachenko V. V., Martynenko V. V., Shulik I. G., Kushchenko P. A., Semenenko O. M., Shyshkovskiy D. A. Issledovaniye strukturno-reologicheskikh svoystv vibrolitnykh zernistykh mass iz  $\text{ZrO}_2$ , stabilizirovannogo  $\text{CaO}$ , v zavisimosti ot vida i kolichestva dispergiruyushchikh dobavok [Structure-rheological properties research of the vibrocast grainy masses from  $\text{CaO}$ -stabilized  $\text{ZrO}_2$ , depending on a dispersants kind and amount]. *Zb. nauk. pr. ПАТ «УКРНДІ ВОГНЕТРИВІВ ІМ. А. С. БЕРЕЖНОГО»*

[Coll. Sci. Papers of PJSC “THE URIR NAMED AFTER A. S. BEREZHNOY”]. Kharkov: PAT “UKRNDI VOGNETRIVIV IM. A. S. BEREZHNOGO” Publ., 2013, no. 113, pp. 3—13 (in Russian).

4. Primachenko V. V., Karjakina E. L., Shulik I. G., Galchenko T. G., Grineva N. I. Issledovaniya mikrostruktury v glinozemistykh i glinozemkromoksidnykh suspenziyakh s dobavkami dispergatorov [Microstructure researches in alumina and alumina-chrome oxide suspensions with dispergate additives] *Zb. nauk. pr. PAT “UKRNDI VOGNETRIVIV IM. A. S. BEREZHNOGO”* [Coll. Sci. Papers of PJSC “THE URIR NAMED AFTER A. S. BEREZHNOY”]. Kharkov: PAT “UKRNDI VOGNETRIVIV IM. A. S. BEREZHNOGO” Publ., 2012, no. 112, pp. 23—33 (in Russian).

5. Primachenko V. V., Shulik I. G., Galchenko T. G., Grinyova N. I. Issledovaniye vliyaniya nekotorykh tekhnologicheskikh faktorov na obrazovaniye struktur v vibrolitykh krupnozernistykh massakh korundovogo sostava s dobavkoy  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  [The research of influence some technological factors on structures formation in vibrocast coarse-grained masses of corundum composition with addition  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ]. *Zb. nauk. pr. PAT “UKRNDI VOGNETRIVIV IM. A. S. BEREZHNOGO”* [Coll. Sci. Papers of PJSC “THE URIR NAMED AFTER A. S. BEREZHNOY”]. Kharkov: PAT “UKRNDI VOGNETRIVIV IM. A. S. BEREZHNOGO” Publ., 2011, no. 111, pp. 3—15 (in Russian).

6. Primachenko V. V., Chaplianko S. V., Martynenko V. V., Shulik I. G., Tkachenko L. P. Issledovaniye strukturno-reologicheskikh svoystv vibrolitoy zernisty korundooksidsirkoniysilikatnoy massy i osvoyoeniye tekhnologii izgotovleniya iz neye tigley [The research of structural-rheological properties of vibrocast grained corundumzirconiasilicate mass and manufacturing technology development of crucible]. *Zb. nauk. pr. PAT “UKRNDI VOGNETRIVIV IM. A. S. BEREZHNOGO”* [Coll. Sci. Papers of PJSC “THE URIR NAMED AFTER A. S. BEREZHNOY”]. Kharkov: PAT “UKRNDI VOGNETRIVIV IM. A. S. BEREZHNOGO” Publ., 2013, no. 113, pp. 20—26 (in Russian).

7. Chaplyanko S. V., Ustichenko V. A., Primachenko V. V. Issledovaniye vliyaniya dispergiruyushchikh glinozemov firmy “Almatis” na svoystva korundoshpinel’nykh tigley [Investigation of the influence of dispersing aluminas of the firm “Almatis” on the properties of corundum-spinel crucibles]. *Visnyk NTU “KhPI”* [Bulletin of the National Technical University “KhPI”]. Kharkov, NTU “KhPI” Publ., 2004, no. 40, pp. 30—36 (in Russian).

8. Primachenko V. V., Shulik I. G., Chaplianko S. V., Tkachenko L. P. Osvoyeniye tekhnologii izgotovleniya sposobom vibrolit’ya slozhnofazonnogo krupnoga-baritnogo shibera novogo tiporazmera [Development of manufacturing technology of vibrocast method intricate-shaped large-sized gate a new dimension-type]. *Zb. nauk. pr. PAT “UKRNDI VOGNETRIVIV IM. A. S. BEREZHNOGO”* [Coll. Sci. Papers of PJSC “THE URIR NAMED AFTER A. S. BEREZHNOY”]. Kharkov: PAT “UKRNDI VOGNETRIVIV IM. A. S. BEREZHNOGO” Publ., 2015, no. 115, pp. 23—29 (in Russian).

9. ISO 1927-4:2012. *Monolithic (unshaped) refractory products — Part 4: Determination of consistency of castables*. Geneva, ISO, 2012, 12

10. Kuznetsova T. V., Talaber J. *Glinozemistyy tsement* [Alumina cement]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1988, 268 p. (in Russian).

11. Primachenko V. V., Shulik I. G., Chaplianko S. V., Gritsyuk L. V., Karjakina E. L. Issledovaniye po polucheniyu vysokokachestvennykh vibrolitykh mullitokorundovykh izdeliy s ispol’zovaniyem glinozemov s soderzhaniiem  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 > 90\%$  razlichnykh proizvoditeley [Research to obtain high-quality vibrocast mullitecorundum products using alumina containing  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 > 90\%$  of different manufacturers]. *Zb. nauk. pr. PAT “UKRNDI VOGNETRIVIV IM. A. S. BEREZHNOGO”* [Coll. Sci. Papers of PJSC “THE URIR NAMED AFTER A. S. BEREZHNOY”]. Kharkov: PAT “UKRNDI VOGNETRIVIV IM. A. S. BEREZHNOGO” Publ., 2011, no. 111, pp. 52—61 (in Russian).