

УДК 666.972.124:691.322

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ ШЛАКОВ СИЛИКОМАРГАНЦА

БОЛЬШАКОВ В. И.¹, д. т. н, проф.,

ЕЛИСЕЕВА М. А.^{2*}, к. т. н.,

НЕВЕДОМСКИЙ В. А.³, к. т. н.,

ЩЕРБАК С. А.⁴, д. т. н., проф.

¹ Кафедра материаловедения и обработки металлов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск, 49005, Украина, тел. (056) 745-23-72, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Кафедра реконструкции и управления в строительстве, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск, 49005, Украина, тел. +38 (096) 377 01 36, e-mail: SMU.TGO@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0003-4474-3255

³ Кафедра технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск, 49005, Украина, тел. +38 (050) 157 92 67, e-mail: nevedomsky47@gmail.com

⁴ Кафедра технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск, 49005, Украина, тел. +38 (095) 243 32 09, e-mail: aspirant@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0346-4436

Аннотация. Постановка проблемы. В настоящее время особую актуальность приобрели вопросы внедрения в производство строительных материалов и изделий ресурсосберегающих видов техники и технологии; комплексного использования сырья и материалов, исключаящие или существенно снижающие их вредное воздействие на окружающую среду. Это позволяет утилизировать сотни тысяч тонн огненножидких шлаков силикомарганца и разработать эффективные конструкционные материалы, способные заменить металлы, нерудные строительные материалы естественного происхождения, бетоны, каменное литье, пластмассы и огнеупоры. **Цель статьи** — изучение структуры и свойств строительных материалов и изделий из шлаков электропечного силикомарганца. **Выводы.** Шлаки от выплавки силикомарганца относятся к категории кислых. Модуль их основности находится в пределах 0,47–0,52. Состав шлака расположен в ликвационной области SiO_2 вблизи линии выделения кристобалита с распространением в область кристаллизации воластонита, согласно тройной системе $\text{MnO}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$, что, учитывая их стабильность, позволяет разработать технологию производства строительных материалов (щебня, песка, гранулированных шлаков и др.) и изделий (фундаментных блоков, дорожных плит, контейнеров для перевозки и хранения опасных отходов и др.).

Ключевые слова: шлаки силикомарганца, структура и свойства огненножидких шлаков, химический состав шлаков, строительные материалы и изделия, прочностные свойства шлаколитых изделий

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ НА ОСНОВІ ШЛАКІВ СИЛІКОМАРГАНЦЮ

БОЛЬШАКОВ В. И.¹, д. т. н, проф.,

ЕЛИСЕЕВА М. А.^{2*}, к. т. н.,

НЕВЕДОМСКИЙ В. А.³, к. т. н.,

ЩЕРБАК С. А.⁴, д. т. н., проф.

¹ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, 49005, Україна, тел. +38 (056) 745 23 72, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Кафедра реконструкції та управління в будівництві, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, 49005, Україна, тел. +38 (096) 377 01 36, e-mail: SMU.TGO@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0003-4474-3255

³ Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, 49005, Україна, тел. +38 (050) 157 92 67, e-mail: nevedomsky47@gmail.com

⁴ Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, 49005, Україна, тел. +38 (095) 243 32 09, e-mail: aspirant@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0346-4436

Анотація. Постановка проблеми. Наразі особливої актуальності набули питання впровадження у виробництво будівельних матеріалів та виробів ресурсозберігальних видів техніки і технології; комплексного використання сировини і матеріалів, що виключають або істотно знижують їх шкідливий вплив на навколишнє

середовище. Це дозволяє утилізувати сотні тисяч тонн вогнянорідких шлаків силікомарганцю і розробити ефективні конструкційні матеріали, здатні замінити метали, нерудні будівельні матеріали природного походження, бетони, кам'яне лиття, пластмаси і вогнетривки. **Мета статті** — вивчення структури та властивостей будівельних матеріалів і виробів із шлаків електропідного силікомарганцю. **Висновки.** Шлаки від виплавки силікомарганцю належать до категорії кислих. Модуль їх основності перебуває в межах 0,47–0,52. Склад шлаку знаходиться в ліквідаційній області SiO_2 поблизу лінії виділення кристобаліту з поширенням в область кристалізації воластоніту, згідно з потрійною системою MnO-CaO-SiO_2 , що, з огляду на їх стабільність, дозволяє розробити технології виробництва будівельних матеріалів (щебеню, піску, гранульованих шлаків та ін.) і виробів (фундаментних блоків, дорожніх плит, контейнерів для перевезення і зберігання небезпечних відходів та ін.).

Ключові слова: шлаки силікомарганцю, структура та властивості вогнянорідких шлаків, хімічний склад шлаків, будівельні матеріали та вироби, міцнісні властивості шлаколитих виробів

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS BASED ON SILICON MANGANESE SLAGS

BOLSHAKOV V. I.¹, Dr. Sc. (Tech.), Prof.,
YELISIEIEVA M. O.^{2*}, Cand. Sc. (Tech.),
NEVEDOMSKIY V. O.³, Cand. Sc. (Tech.),
SHCHERBAK S. A.⁴, Dr. Sc. (Tech.), Prof.,

¹ Department of Materials Science, State Higher Educational Establishment «Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», Chernyshevskiy St., 24 a, Dnipropetrovsk, 49005, Ukraine, tel. + 38 (056) 745-23-72, email: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID 0000-0003-0790-6473

^{2*} Department of Reconstruction and Management in Construction, State Higher Educational Establishment «Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», Chernyshevskiy St., 24 a, Dnipropetrovsk, 49005, Ukraine, tel. +38 (096) 377 01 36, e-mail: SMU.TGO@yandex.ua, ORCID 0000-0003-4474-3255

³ Department of Building Materials, Products and Structures Technology, State Higher Educational Establishment «Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», Chernyshevskiy St., 24 a, Dnipropetrovsk, 49005, Ukraine, tel. +38 (050) 157 92 67, e-mail: nevedomsky47@gmail.com

⁴ Department of Building Materials, Products and Structures Technology, State Higher Educational Establishment «Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», Chernyshevskiy St., 24 a, Dnipropetrovsk, 49005, Ukraine, tel. +38 (095) 243 32 09, e-mail: aspirant@mail.pgasa.dp.ua, ORCID 0000-0003-0346-4436

Summary. Raising of problem. Currently of particular relevance was given to the matter of introduction in manufacture of building materials and products, resource-saving techniques and technologies; integrated use of raw materials and materials that prevent or significantly reduce their harmful impact on the environment. This allows you to recycle hundreds of thousands of tons of the fiery liquid slags of silicon manganese and to develop effective structural materials that can replace metals, non-metallic building materials of natural origin, concretes, cast stone, plastics and refractories. **Purpose.** The study of the structure and properties of building materials and products from electric furnace slag of silicon manganese. **Conclusion.** Slags from the smelting of silicon manganese are classified as acidic. Their lime factor is in the range of 0.47–0.52. The composition of the slag located in the heterogeneous region SiO_2 near the line of separation of cristobalite spread to the crystallization of wollastonite, according to the ternary system MnO-CaO-SiO_2 , which in consideration of their stability, allows the development of technology of building materials (gravel, sand, granulated slag, etc.) and products (foundation blocks, road slabs, containers for transportation and storage of hazardous waste, and others).

Keywords: silicon manganese slags, structure and properties of the fiery-liquid slags, the chemical composition of the slags, building materials and products, the strength properties of slagcast products

Постановка проблеми. В настоящее время особую актуальность приобрели вопросы внедрения в производство ресурсосберегающих видов техники и технологии; комплексного использования сырья и материалов, исключающие или существенно снижающие их вредное воздействие на окружающую среду.

Комплексное использование минерального сырья тесно связано с проблемой охраны природы, а одним из

важных факторов её защиты является разработка и внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий, позволяющих утилизировать сотни тысяч тонн огненножидких шлаков силікомарганца [11–14]. Их использование для производства строительных материалов и изделий способствует решению комплекса важных народнохозяйственных задач: экономии сырья, тепловой энергии и разработки эффективных конструкционных

материалов, способных заменить металлы, нерудные строительные материалы естественного происхождения, бетоны, каменное литье, пластмассы и огнеупоры [13].

Цель статьи — изучение структуры и свойств строительных материалов и изделий из шлаков электропечного силикомарганца.

Изложение основного материала.

Выход шлаков ферросплавного производства на предприятиях Украины приближается к 0,9 млн т в год [1]. Затвердевшие шлаки дробят, сортируют, перерабатывают на щебень и песок для дорожного строительства. Жидкие шлаки подвергают грануляции и используют в строительстве и собственном производстве как сырьевые материалы [10]. По химическому составу шлаки товарного силикомарганца относятся к системе $\text{SiO}_2\text{-MnO-CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-(Na, K)}_2\text{O}$.

Среднестатистическое содержание компонентов в шлаках силикомарганца ОАО НЗФ составило: 50,56 % SiO_2 ; 14,9 % CaO , 4,39 % MgO , 15,12 % MnO . Пределы содержаний остальных компонентов: 1,7-10,5 % $\text{(Na,K)}_2\text{O}$, 8-10 % Al_2O_3 , 2 -3 % FeO , 0,6-1,2 % S^{2-} . Среднеквадратичное отклонение при статистической обработке около 1300 серийных рентгеноспектральных анализов составляло (масс.%) 0,29 SiO_2 , 1,34 CaO , 0,55 MgO , 1,65 MnO . Состав шлака расположен в ликвационной области SiO_2 вблизи линии выделения кристобалита с распространением в область кристаллизации волластонита, согласно тройной системе MnO-CaO-SiO_2 [3; 9; 10]. Закристаллизованный шлак силикомарганца практически насыщен SiO_2 , а марганец входит в силикатное марганцевое стекло.

Минеральная составляющая продуктов переработки используется для устройства оснований дорожных одежд, служит инертным наполнителем для закладки в горные выработки. Металлопродукт, извлеченный из отвального шлака, направляют на переплавку [9–12].

Как показали исследования, шлаки от выплавки силикомарганца относятся к категории кислых. Модуль их основности

находится в пределах 0,47...0,52 [2]. Вследствие этого они обладают низкой кристаллизационной способностью. Так как в шлаках силикомарганца содержится повышенное количество SiO_2 , жидкотекучесть их в сравнении с основными шлаками (например, с доменными комбината им. Петровского) недостаточно высокая. Из этого следует, что шлаки силикомарганца могут вспучиваться [9].

Для определения области применения гранулированных шлаков силикомарганца в строительстве важно определить их зерновой состав. Он является основной качественной характеристикой в случае применения гранулированных шлаков в качестве мелкого заполнителя при производстве бетонов и при отсыпке территорий.

Гранулированные шлаки силикомарганца содержат не только песчаные (< 5 мм) частицы, но и зерна крупностью 5–10; 10–20; 20–40; даже 40–70 мм. Содержание зерен крупностью более 5 мм не превышает 15 %, а пылевидных частиц не более 7 %.

Изучение колебания химического состава шлака в зависимости от состава исходных сырьевых материалов и технологических факторов выплавки силикомарганца показало, что повышение содержания в исходных материалах Al_2O_3 приводит не только к увеличению содержания глинозема в шлаке, но и к общему объему выхода шлака. Оксид кальция практически полностью переходит из шихты в шлаковую фазу, а повышение отношения $\text{MgO/Al}_2\text{O}_3$ снижает выход шлака. Из технологических факторов на колебание химического состава шлака, особенно содержания MnO , в наибольшей мере оказывают влияние характер распределения слоев первичного шлака, коксового слоя, конечного шлака и металла, который определяется в зависимости от стабильности перепада температур по рудотермической печи, продолжительности выхода шлака, диаметра летки печи [5; 6].

С целью изучения температурной зависимости вязкости, шлака были созданы установка и метод измерения вязкости основанный на принципе нарушения резонанса переменного тока при трении слоев расплава и погружаемого в него шпинделя. Зависимость вязкости шлака Si-Mn от его химического состава подчиняется общим закономерностям: увеличение Al_2O_3 в составе шлака повышает его вязкость, а щелочных оксидов и закиси марганца — ее снижают; изменение суммарного содержания щелочей от 5,7 до 4,4 масс.% при одновременном увеличении CaO от 12,8 до 15,8 масс.% и Al_2O_3 от 8,1 до 10,4 масс.% при почти одинаковом содержании SiO_2 , MgO и MnO снижало вязкость шлаков при температуре 1450 °C с 0,81 до 0,61 Па·с. Температурная зависимость вязкости шлака свидетельствует о том, что расплав шлака Si-Mn является существенно более коротким, чем промышленный шлакоситалл и каменное литье, а жидкотекучесть шлаков силикомарганца выше, чем у каменного литья [7; 8].

Низкая вязкость и высокая жидкотекучесть расплава шлака в интервале 1500-1380 °C и резкое нарастание вязкости в интервале 1380-1320 °C, обусловленное упорядочением структуры расплава, позволило научно обосновать метод формования изделий из огненножидких шлаков — высокотемпературное литье [2; 4; 15].

Поверхностное натяжение и плотность высокотемпературного расплава шлака силикомарганца с понижением температуры отбора и заковки огненножидкого шлака от температуры 1500 до 1200 °C увеличивается от 455 до 479 кДж/м² и от 2820 до 2980 кг/м³ соответственно.

Для изучения структурно-фазовых превращений шлаков силикомарганца в зависимости от температурно-временных и других факторов были использованы методы дифференциально-термического, рентгено-фазового, локального рентгено-спектрального анализов, массовой кристаллизации, ЭПР, а также химические методы, петрография,

электронная и световая, в проходящем и отраженном свете, микроскопия.

Отбор проб шлаков при различных температурах (1480, 1420, 1350 и гранулированного), изучение их кристаллизационной способности показали, что шлак силикомарганца обладает высокой кристаллизационной способностью, зависящей от теплового прошлого. Первой кристаллической фазой при температурах около 1500 °C формируется MnO, который при дальнейшем пироксенообразовании играет положительную каталитическую роль.

Температурная зависимость кристаллизационной способности была изучена в интервале 1200-500 °C для шлака с различным тепловым прошлым.

Было установлено, что основные температурные интервалы фазовых превращений шлаков, расплавленных и гранулированных, близки, но зависят от теплового прошлого шлака и смещаются в область более низких температур для шлака, частично охлажденного уже в расплавленном состоянии. Поэтому дальнейший режим кристаллизации может быть скорректирован в зависимости от температуры отбора расплава шлака. Основными кристаллическими фазами являются минералы группы моноклинных или триклинных пироксенов и группы плагиоклаза.

Методом ЭПР установлено, что марганец как при высоких температурах расплава, так и в процессе кристаллизации сохраняется в низшей степени окисления Mn(II). Кроме того, методом локального рентгено-спектрального анализа показано, что марганец максимально сконцентрирован в кристаллах основной кристаллической фазы. На модельных составах Mg-Ca — моноклинного пироксена (диопсида) показана зависимость частичного и полного Ca - Mn(II) и Mg - Mn(II) замещения.

В результате внедрения Mn(II) в решетку диопсида обеспечивается высокая степень закристаллизованности шлаков (до 96 масс.%). После выделения Mn-содержащего пироксена, что обеспечивает 70 масс.% кристаллической фазы,

остаточная стекловидная фаза почти полностью соответствует стехиометрическому составу (Na, K) — плагиоклазу.

По мере замены CaO на MnO в диопсиде происходит постепенный переход от кальциевых к магнезиальным Mn-содержащим моноклинным пироксенам, а по мере замены MgO на MnO от моноклинных типа йогансенита $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Mn})[\text{Si}_2\text{O}_6]$ к триклинным типа бустамита $\text{Ca}_3\text{Mn}_3[\text{Si}_2\text{O}_9]$. Частичная (50 масс.%) замена CaO на MnO способствует стеклообразованию, а полная замена CaO на MnO вызывает объемную кристаллизацию непосредственно из расплава. MnO способствует стеклообразованию бесщелочных стекол при замене им MgO, что подтверждает модифицирующую роль оксида марганца как плавня. Кристаллизационная способность бесщелочных стекол состава диопсида снижается при введении до примерно 50 масс.% MnO взамен CaO, а при введении большего количества MnO и во всем интервале замены MgO на MnO — повышается.

Соблюдение технологических режимов при получении шлаколитых изделий

обеспечивает благоприятное для свойств материала сочетание кристаллизации с моментами стеклообразования. Полное формирование структуры материала обеспечивает его высокие, а в комбинации — во многом уникальные физико-химические и — механические свойства (плотность, водопоглощение, кислотостойкость, щелочестойкость и др.) [1; 9].

Выводы. Шлаки от выплавки силикомарганца относятся к категории кислых. Модуль их основности находится в пределах 0,47–0,52. Состав шлака расположен в ликвационной области SiO_2 вблизи линии выделения кристобалита с распространением в область кристаллизации волластонита, согласно тройной системе $\text{MnO}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$, что, учитывая их стабильность, позволяет разработать технологии производства строительных материалов (щебня, песка, гранулированных шлаков и др.) и изделий (фундаментных блоков, дорожных плит, контейнеров для перевозки и хранения опасных отходов и др.).

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Современное состояние в переработке жидких шлаков ферросплавного производства / В. И. Большаков, М. А. Елисеева, Н. В. Спильник, С. А. Щербак, В. С. Куцин, В. А. Неведомский // Науковий вісник будівництва : зб. наук. пр. / Харків. нац. ун-т буд-ва та архітектури. – Харків, 2010. – Вип. 61. – С. 336–340.
2. Углеродотермия шлаков силикомарганца и пути их применения / В. И. Большаков, В. С. Куцин, В. А. Неведомский, М. А. Елисеева, О. С. Щербак, С. А. Щербак // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ, 2011. – № 5. – С. 4–8.
3. Физико-химические процессы образования шлака силикомарганца / В. И. Большаков, В. С. Куницин, В. А. Неведомский, М. А. Елисеева, О. С. Щербак, С. А. Щербак // Theoretical foundations of civil engineering : Polish-Ukrainian Transactions (conference), Warsaw, September, 2011 / ed. by W. Szczesniak. – Warsaw, 2011. – Vol. 19. – P. 345–350.
4. Эффективные изделия и конструкции из жидких шлаков силикомарганца / В. И. Большаков, В. С. Куцин, В. А. Неведомский, О. С. Щербак, С. А. Щербак // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднпр. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 59 : Стародубовские чтения. – С. 10–15.
5. Куцин В. С. Производство марганцевого магнезиального агломерата с использованием обогащенной никопольской марганцевой руды и отвального магнезиально-силикатного шлака выплавки ферроникеля / В. С. Куцин, М. И. Гасик // Сталь. – 2012. – № 1. – С. 22–28.
6. Куцин В. С. Теоретическое обобщение, исследование и разработка ресурсо- энергосберегающих процессов и технологий производства марганцевых ферросплавов в высокоомощных электропечах : дис. ... доктора техн. наук : 05.16.02 / Куцин Владимир Семенович. – Днепропетровск, 2012. – 395 с.
7. Лебедева Г. А. Каменное литье как радиационно-стойкий материал / Г. А. Лебедева, Г. П. Озерова // Строительные материалы. – 1998. – № 5. – С. 14–15.
8. Липовский И. Е. Камнелитейное производство / И. Е. Липовский, В. А. Дорофеев. – Москва : Металлургия, 1965. – 199 с.

9. Металлургические шлаки в строительстве / В. И. Большаков, В. З. Борисовский, В. Д. Глуховский, П. В. Кривенко, А. П. Никифоров, С. А. Щербак. – Днепропетровск : ПГАСА, 1999. – 113 с.
10. Напрямки і перспективи використання відходів металургійної, гірничорудної та хімічної промисловості в будівництві / В. І. Большаков, Г. М. Бондаренко, А. І. Головка, О. Ю. Зільберман, П. В. Кривенко, В. О. Неведомський, О. П. Нікіфоров, М. І. Шімон, С. А. Щербак. – 2-е вид., виправл. та доповн. – Дніпропетровськ : Gaudeamus, 2000. – 140 с.
11. Неведомский В. А. Специальные виды литья из огненно-жидких шлаков для хранения радиоактивных и токсичных отходов / В. А. Неведомский, Н. С. Михайленко // Экология и промышленность. – 2008. – № 4. – С. 77–83.
12. Неведомский В. А. Энергосберегающая технология стеклокристаллических изделий из огненно-жидких шлаков / В. А. Неведомский, Н. И. Минько // Сталь. – 1996. – № 2. – С. 70–73.
13. Никопольские ферросплавы. К 75-летию акад. НАН Украины М. И. Гасика / М. И. Гасик, В. С. Куцин, Е. В. Лапин, В. И. Олышанский, И. И. Люборец ; под ред. В. С. Куцин. – Днепропетровск : Систем. технологии, 2004. – 272 с.
14. Смирнов Л. А. Современное состояние переработки шлаков ферросплавного производства / Л. А. Смирнов, А. А. Грабеклис, Б. Л. Демин // Сталь. – 2009. – № 1. – С. 86–89.
15. Щербак О. С. Особенности армированных шлаколитых фундаментных блоков / О. С. Щербак // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ, 2015. – № 1. – С. 45–50.

REFERENCES

1. Bolshakov V.I., Yeliseeva M.O., Spilnik N.V., Shcherbak S.A., Kutsin V.S. and Nevedomskij V.O. *Sovremennoe sostoyanie v pererabotke zhidkikh shlakov ferrosplavnogo proizvodstva* [Current status in the processing of liquid waste of ferroalloy production] *Naukovyi visnyk budivnytstva* [Scientific Bulletin of Construction]. 2010, iss. 61, pp. 336-340. (in Russian).
2. Bolshakov V.I., Kutsin V.S., Nevedomskij V.O., Yeliseeva M.O., Shcherbak O.S. and Shcherbak S.A. *Uglerodotermiya shlakov silikomargantsa i puti ikh primeneniya* [Carbon thermal process of silicon manganese slags and the ways of their application]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydnipropovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2011, iss. 5, pp. 4-8. (in Russian).
3. Bolshakov V.I., Kutsin V.S., Nevedomskij V.O., Yeliseeva M.O., Shcherbak O.S. and Shcherbak S.A. *Fiziko-khimicheskie protsessy obrazovaniya shlaka silikomargantsa* [Physical and mechanical processes of slag silicon manganese formation]. *Theoretical foundations of civil engineering: Polish-Ukrainian Transactions (conference)*. Warsaw, 2011, vol. 19, pp. 345-350. (in Russian).
4. Bolshakov V.I., Kutsin V.S., Nevedomskij V.O., Shcherbak O.S. and Shcherbak S.A. *Effektivnye izdeliya i konstruktсии iz zhidkikh shlakov silikomargantsa* [Effective products and structures from liquid silicon manganese slags]. *Stroitel'stvo, materilovedenie, mashynostroenie* [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. 2011, iss. 59, vol. 2, pp. 10-14. (in Russian).
5. Kutsin V.S. and Gasik M.I. *Proizvodstvo margantseвого magnezial'nogo aglomerata s ispolzovaniem obogashchennoj nikopolskoj margantsevoj rudy i otval'nogo magnezial'no-silikatnogo shlaka vyplavki ferronikelya* [Production of manganese sinter magnesite with enriched Nikopol manganese ore and dump magnesium-silicate slag smelting ferronickel]. *Stal* [Steel]. 2012, no 1, pp. 22-28. (in Russian).
6. Kutsin V.S. *Teoreticheskoe obobshchenie, issledovanie i razrabotka resurso- energosberegayushchikh protsessov i tekhnologiy proizvodstva margantsevykh ferrosplavov v vysokomoshchnykh elektropetchakh: dis. doktora tekhn. nauk: 05.16.02* [Theoretical generalization, research and development resource of energy saving processes and technologies for production of manganese ferro-alloys in high-power electric furnaces: Dr. Sc. (Tech.) Dissertation: 05.16.02]. Dnepropetrovsk, 2012, 395 p. (in Russian).
7. Lebedeva G.A. and Ozerova G.P. *Kamennoe lit'e kak radiatsionno-stoykij material* [Stone cast as a radiation-resistant material]. *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 1998, no 5, pp. 14-15. (in Russian).
8. Lipovskij I.Ye. and Dorofeev V.A. *Kamneliteynoye proizvodstvo* [Stone casting production]. Moskva: Metallurgiya, 1965, 199 p. (in Russian).
9. Bolshakov V.I., Borisovskij V.Z., Glukhovskij V.D., Krivenko P.V., Nikiforov O.P. and Shcherbak S.A. *Metallurgicheskiye shlaki v stroitel'stve* [Metallurgical slags in construction]. Dnepropetrovsk: PGASA, 1999, 114 p. (in Russian).
10. Bolshakov V.I., Bondarenko H.M., Holovko A.I., Zilberman O.Yu., Kryvenko P.V., Nevedomskiy V.O., Nikiforov O.P., Shimon M.I. and Shcherbak S.A. *Napriamky i perspektyvy vykorystannia vidkhodiv metalurhiinoi, hirnychorudnoi ta khimichnoi promyslovosti v budivnytstvi* [Areas and perspectives of application of metallurgical, ore mining and chemical industry wastes in construction]. Dnipropetrovsk: Gaudeamus, 2000, 140 p. (in Ukrainian).

11. Nevedomskij V.O. and Mikhailenko N.S. *Spetsialnye vidy lit'ya iz ognenno-zhidkikh shlakov dlya khraneniya radioaktivnykh i toksichnykh otkhodov* [Special types of casting fiery liquid waste storage of radioactive and toxic waste]. *Ekologiya i promyshlennost* [Ecology and Industry]. 2008, no 4, pp. 77-83. (in Russian).
12. Nevedomskij V.O. *Energosberegayushchaya tekhnologiya steklokristallicheskikh izdeliy iz ognenno-zhidkikh shlakov* [Energy saving technology of glass-ceramic products fiery-liquid slags]. *Stal* [Steel]. 1996, no 2, pp. 70-73. (in Russian).
13. Gasik M.I., Kutsin V.S., Lapin E.V., Ol'shanskij V.I. and Lyuborets I.I. *Nikopolskie ferrosplavy. K 75-letiyu akad. NAN Ukrainy M.I. Gasika* [Nikopol Ferroalloy. The 75th anniversary of academician of NAS of Ukraine M.I. Gasik]. Dnepropetrovsk: Sistem Tekhnologii, 2004, 272 p. (in Russian).
14. Smirnov L.A., Grabeklis A.A. and Demin B.L. *Sovremennoe sostoyanie pererabotki shlakov ferrosplavnogo proizvodstva* [The present state of slag processing ferroalloy production]. *Stal* [Steel]. 2009, no 1, pp. 86-89. (in Russian).
15. Shcherbak O.S. *Ossobennosti armirovannykh shlakolitykh fundamentnykh blokov* [Features of reinforced slag cast foundation blocks]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2015, iss. 1, pp. 45-50. (in Russian).

Рецензент: д-р. т.н., проф. Седин В. Л.

Поступила в редколлегию: 11.04.2016 г. Принята к печати 24.04.2016 г.