

- the blast furnace]. *Visnik Priazovs'kogo derzhavnogo tekhnichnogo universitetu. Serii: Tekhnichni nauki – Reporter of the Priazovskyi State Technical University. Section: Technical sciences*, Mariupol', 2011, vol. 22, pp. 36-41. (Rus.)
8. Semakova V.B., Tomash A.A., Semakov V.V., Dolya S.N., Kosolap N.V. Reducing action of the gas flux in blast furnaces at PAO MMK im. Il'icha. *Steel in Translation*, 2011, vol. 41, no. 2, pp. 123-127. doi: 10.3103/S096709121102015X.
  9. Kurunov I.F. Metodika ocenkiy effektivnosti vosstanovitel'nyh processov v domennoj pechi [Method for evaluating the efficiency of reduction processes in the blast furnace]. *Izvestiia Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Chernaia Metallurgiya – Izvestiya. Ferrous Metallurgy*, 1982, no. 3, pp. 20-23. (Rus.)
  10. Andronov V.N. *Minimal'no vozmozhnyj rashod koksa i vlijanie na nego razlichnyh faktorov domennoj plavki* [The minimum possible coke consumption and the influence on it of various factors of blast furnace smelting]. Sankt-Peterburg, SPbGTU Publ., 2001. 142 p. (Rus.)
  11. Russkih V.P., Semakov V.V. Analiz vlijanija vosstanovivosti zhelezorudnoj shihty na pokazateli domennoj plavki [Analysis of influence of the ore materials reducibility upon indexes of blast furnace smelting]. *Visnik Priazovs'kogo derzhavnogo tekhnichnogo universitetu. Serii: Tekhnichni nauki – Reporter of the Priazovskyi State Technical University. Section: Technical sciences*, Mariupol', 2012, vol. 25, pp. 27-35. (Rus.)
  12. Semakova V.B., Semakov V.V., Gavriloglu D.I. Economic analysis of reduction processes in blast furnaces. *Steel in Translation*, 2012, vol. 42, no. 4, pp. 319-323. doi: 10.3103/S0967091212040146.

Рецензент: Л. И. Тарасюк  
канд. техн. наук, доц., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 28.08.2018

УДК 669.054.824

doi: 10.31498/2225-6733.37.2018.160221

© Кравченко В.П.<sup>1</sup>, Таранина Е.В.<sup>2</sup>, Лазаревская Ю.А.<sup>3</sup>

## ПЕРЕРАБОТКА ОТВАЛЬНЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ

*Разработаны технологические схемы переработки отвальных доменных и смеси металлургических шлаков. Согласно схеме переработки отвальных доменных шлаков, кроме отделения магнитной фракции, предусматривается получение строительного щебня, вяжущего материала и микрозаполнителей для получения высокопрочных бетонов. Комплекс оборудования выполнен по блочно-модульному принципу, где однотипная несущая металлическая конструкция каждого блока, связанного в составе комплекса консольными ленточными конвейерами, позволяет установить блок на спланированную поверхность промышленной площадки без фундамента. В технологической схеме комплексной переработки смеси отвальных металлургических шлаков предусматривается, кроме получения строительных материалов, комплекс технологических мер по раскрытию сырья путем его магнитно-гравитационной сепарации, что позволяет обеспечить содержание металла в получаемом скраповом концентрате (магнитном и немагнитном) до 95%, а прогнозируемое извлечение скрапа – не менее 90...92%.*

**Ключевые слова:** металлургические шлаки, грохочение, измельчение, магнитно-гравитационная сепарация, фракция, скрап, строительный щебень, вяжущий материал.

<sup>1</sup> канд. техн. наук, ЧП «Эра плюс», г. Мариуполь

<sup>2</sup> ст. преподаватель, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, [avalonn777@ukr.net](mailto:avalonn777@ukr.net)

<sup>3</sup> зав. лабораторией, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

**Кравченко В.П., Тараніна О.В., Лазаревська Ю.А. Переробка відвальних металургійних шлаків.** Розроблено технологічні схеми переробки відвальних доменних шлаків і суміші металургійних шлаків – відходів різних виробництв (шлак доменного виробництва; шлак сталеплавильного виробництва; шлак, отриманий в результаті виробництва спеціальних сталей, зола теплоелектростанцій), що мають складний мінералогічний склад, для отримання ряду цінних матеріалів з суттєвим еколого-економічним ефектом. Згідно зі схемою переробки відвальних доменних шлаків, крім відділення магнітної фракції, передбачається отримання будівельного щебеню, в'язучого матеріалу і мікрозаповнювачів для отримання високоміцних бетонів. Комплекс устаткування виконаний за блочно-модульним принципом, де однотипна несуча металева конструкція кожного блоку, пов'язаного в складі комплексу консольними стрічковими конвеєрами, дозволяє встановити блок на сплановану поверхню промислового майданчика без фундаменту, що сприяє в разі необхідності переміщенню комплексу протягом зміни з мінімальним використанням підйомно-транспортних коштів. До складу комплексу входять блоки первинного грохочення, дрібного грохочення і дроблення, пневматичної і магнітної сепарації. Параметри і режими роботи технологічного устаткування, що входить до складу комплексу, регулюються в широких межах і дозволяють забезпечити високу ефективність переробки при мінливих властивостях початкової сировини. У технологічній схемі комплексної переробки суміші відвальних металургійних шлаків передбачається, крім отримання будівельних матеріалів, комплекс технологічних заходів по розкриттю сировини шляхом його магнітно-гравітаційної сепарації, що дозволяє забезпечити вміст металу в одержуваному скраповому концентраті (магнітному і немагнітному) до 95%, а прогнозний витяг скрапу – не менше 90...92%.

**Ключові слова:** металургійні шлаки, просівання, подрібнення магнітно-гравітаційна сепарація, фракція, скрап, будівельний щебінь, в'язучий матеріал.

**V.P. Kravchenko, E.V. Taranina, U.A. Lazarevskaya. Metallurgical slags processing.** Technological schemes have been developed for the processing of blast furnace slags and a mixture of metallurgical slags – complex mineralogical composition waste from various industries (blast-furnace slag; steel-smelting slag; slag resulting from special steels production, thermal power plant ash) – to obtain a number of valuable materials possessing ecological and economic benefits. According to the scheme of waste blast-furnace slags processing, provision has been made not only to separate the magnetic fraction, but to obtain building slag, binding and micro-filling materials for the production of high-strength concrete as well. The block-modular equipment, where the uniform single-type metal construction of each block is connected to the complex proper with cantilever belt conveyors, makes it possible to install the block on the required surface of an industrial site without any bedding, and to move it, in case of need, during a shift with minimal use of materials handling equipment. The complex includes blocks of primary screening, small screening and crushing, pneumatic and magnetic separation. The parameters and modes of the process equipment operation, which is part of the complex, are regulated over a wide range making it possible to ensure high processing efficiency with variable properties of the raw material. The technological scheme of complex processing of a mixture of metallurgical slag dumps, besides obtaining building materials, provides for a set of technological measures for magnetic-gravitational separation of raw materials, which allows to ensure up to 95% metal content in the resulting scrap (magnetic and non-magnetic), and the predicted extraction of scrap not less than 90...92%.

**Keywords:** metallurgical slags, screening, grinding, magnetic-gravity separation, fraction, scrap, building slag, binding material.

**Постановка проблеми.** Металлургические шлаки являются неизбежным продуктом технологического процесса выплавки металла. С ростом производства металла растет и количество образующихся отходов – шлаков, которые зачастую не перерабатываются и отправляются

на хранение в отвалы, в которых в настоящее время их скопилось многие миллионы тонн. Природные осадки в виде дождей воздействуют на отвальные шлаки, вызывая в них реакции с выделением сероводорода в окружающую среду, и смывают небезопасные минеральные соединения, которые попадают в почву и реки. На протяжении многих лет отвальное хранение металлургических шлаков как отдельных циклов, так и всех циклов металлургического производства, неблагоприятно отражается на окружающей среде [1].

Незаинтересованность металлургических предприятий в переработке шлаков объясняется низким содержанием в них остаточного металла и его оксидов, которые возможно использовать в металлургическом переделе с экономическим эффектом.

Все живое, включая как живую клетку, так и все человечество, не может нормально существовать в отходах своей жизнедеятельности, поэтому переработка масштабных отходов металлургического производства – шлаков – является актуальной не только научно-технической, но и экологической и социальной проблемой, которую необходимо решать путем полной переработки всех шлаков как текущего выхода, так и, в первую очередь, отвальных.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В настоящее время используются устаревшие технологические схемы [2, 3]. При переработке шлака не достигается полная его утилизация. Если магнитная металлическая составляющая, направляемая на переплавку, и мелкая фракция скрапа (0-10 мм) неплохо извлекаются, то значительная часть немагнитной фракции остается в шлаковой массе, которую отбрасывают, как не имеющую перспектив для дальнейшей переработки. К тому же, данные способы недостаточно эффективны для переработки смеси отвальных шлаков разных видов производств (доменное, конверторное и др.) ввиду сложного минералогического состава этих шлаков. Кроме того, получаемая фракция шлаковой массы недостаточно мелкая для получения качественного бетона и не полностью освобождается от металлических частиц, подвергающихся в дальнейшем коррозии в процессе эксплуатации строительных материалов и изделий из них.

При разработке технологической схемы переработки отвальных доменных шлаков был исследован их химический состав по основным оксидам, которые составили: CaO – 47,44%; SiO<sub>2</sub> – 39,3%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 6,52%; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,34%. Так как содержание CaO (47,44%) в доменном шлаке высокое и составляет порядка 3/4 от содержания его в портландцементном (ПЦ) клинкере, в котором оксид кальция является основным минералообразующим оксидом, то, учитывая результаты исследования, изложенные в источнике [4], можно сделать вывод о возможности получения при переработке отвалов доменных шлаков также и вяжущих материалов. Поэтому кроме отделения магнитной фракции, строительного щебня была поставлена задача также получить микрозаполнитель-добавки при получении высококачественных бетонов.

Известно, что шлаки, измельченные до тонкодисперсного состояния, имеют высокие вяжущие свойства [4, 5], а фракция с удельной поверхностью 2 м<sup>2</sup>/г при использовании, как микрозаполнитель в бетонах, увеличивает их прочность, сопротивление истиранию, хлорной и сульфатной агрессии, уменьшает водопроницаемость, что делает бетон способным нести большие нагрузки, в том числе и влияние неблагоприятной окружающей среды.

**Цель статьи** – разработка эффективной технологии полной переработки металлургических шлаков. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: 1) разработка технологической схемы переработки отвальных шлаков доменного производства; 2) разработка технологической схемы переработки отвальных смешанных шлаков.

**Изложение основного материала.** 1. Технологическая схема переработки отвальных доменных шлаков. Решение поставленных задач в разработанной технологической схеме переработки отвальных доменных шлаков представлено на рис. 1. Способ переработки отвальных доменных шлаков (рис. 1) осуществляется следующим образом [6].

Шлак из отвала кусками до 120 мм подается в бункер щековой дробилки, где происходит первая стадия грубого дробления до фракции 0-40 мм, из которой навесным электромагнитом удаляют металлосодержащие куски и шлаковая масса подается в конусную дробилку на вторую стадию дробления. После конусной дробилки шлаковая масса крупностью до 25 мм поступает на грохот, где разделяется на три фракции: 0-3 мм, 3-12 мм, 12-25 мм, каждая из которых поступает в соответствующий накопительный бункер, откуда каждую фракцию подвергают сухой магнитной сепарации, после чего магнитные части всех фракций поступают на склад отдельной

магнитной части отвального шлака для использования в металлургическом переделе. Немagnetные части фракции 3-12 мм, 12-25 мм поступают на склад для использования, соответственно, как накопитель для строительных растворов и как щебень, а немагнитная фракция 0-3 мм поступает на тонкодисперсное измельчение в струйной мельнице, после которой получают две тонкодисперсные фракции, которые направляются на соответствующие склады. Фракции с удельной поверхностью зерна  $S \geq 0,5 \text{ м}^2/\text{г}$  используют как вяжущие в разных строительных растворах или как добавку к цементу, а фракции с удельной поверхностью зерна до  $2,0 \text{ м}^2/\text{г}$  как микрозаполнитель для повышения качества бетона.

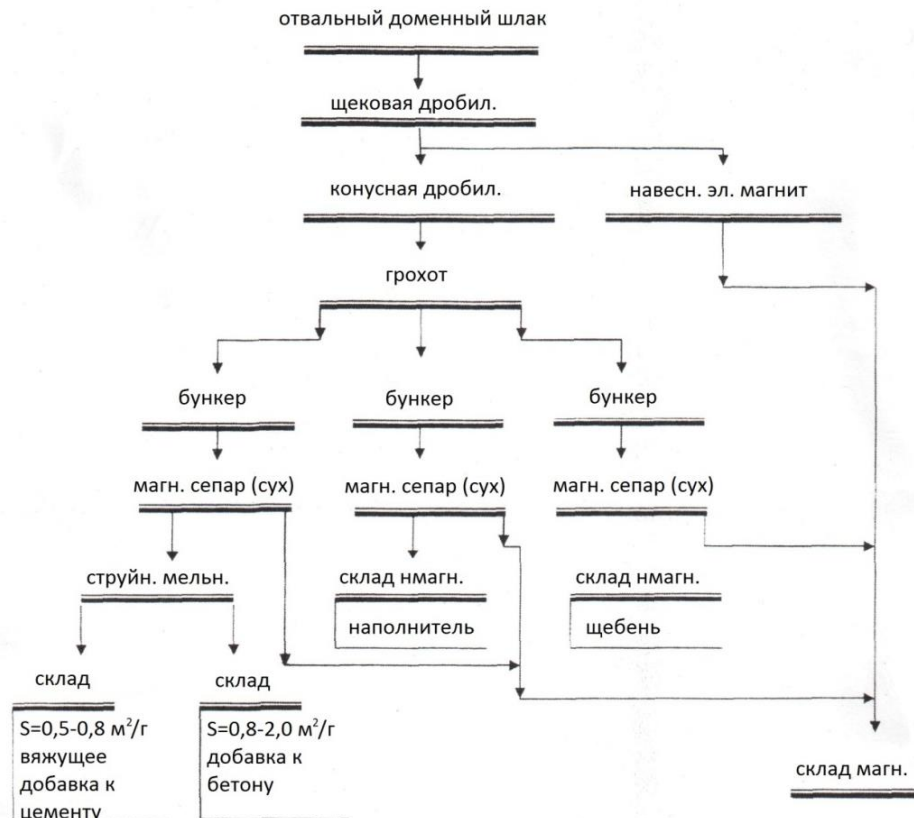


Рис. 1 – Технологическая схема переработки отвальных доменных шлаков

2. Технологическая схема переработки смеси отвальных металлургических шлаков. Зачастую металлургические предприятия не производят грануляцию шлаковых расплавов и из-за нехватки свободных площадей (например, ЧАО «МК «Азовсталь») отправляют в один отвал шлаки всех металлургических циклов. В результате этого образуются отвалы смешанных шлаков, которые, ввиду содержащихся в них разных по химсоставу и физико-механическим свойствам шлаков, представляют для переработки определенные трудности в технологическом аспекте и требуют комплексного подхода.

Авторами разработана технологическая схема комплексной переработки смеси металлургических шлаков, представленная на рис. 2. Согласно технологической схеме на начальном этапе в комплексе предусматривается проведение классификации исходного сырья, для чего используют колосниковые грохоты, которые разделяют исходный материал на две фракции в диапазоне крупности  $+0...-200 \text{ мм}$ , и  $\leq 200 \text{ мм}$ , которую подвергают магнитной сепарации с отделением металла и возвратом негабарита на дробление и последующую классификацию. Фракцию крупностью  $+0...-200 \text{ мм}$  после дробления с целью раскрытия металлического скрапа классифицируют на две фракции – крупностью  $-10 \text{ мм}$  и  $+10 \text{ мм}$ . Фракцию крупностью  $+10 \text{ мм}$  магнитной сепарацией разделяют на магнитную и немагнитную, последняя из которых может содержать немагнитные частицы, например, такие как гематит ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Для отделения немагнитной металлизированной части из немагнитной фракции  $+10 \text{ мм}$  предполагается использо-

вать пневмогравитационную классификацию, где разделение происходит по удельному весу и крупности частиц. Для создания воздушного потока при классификации можно использовать заводскую систему сжатого воздуха или просто лопастной вентилятор. Полученные фракции – немагнитная металлизированная – направляются на металлургический передел, фракция +10...–40 мм может быть использована как строительный щебень. Фракцию –10 мм магнитной сепарацией также разделяют на две фракции – немагнитную и магнитную. Полученную при этом магнитную фракцию после классификации на фракции 0...–2 мм и –2...–10 мм брикетируют для последующей металлургической переработки. Немагнитная часть фракции –10 мм также разделяется гравитационной пневмосепарацией на фракции, которые можно использовать следующим образом: пылевидная – как добавку к цементу; немагнитная неметаллизированная фракция 0,5...2,5 мм – для производства вяжущих материалов; немагнитная металлизированная фракция +0,5...–5 мм – для металлургического передела; фракция +5...–10мм – как строительный щебень.

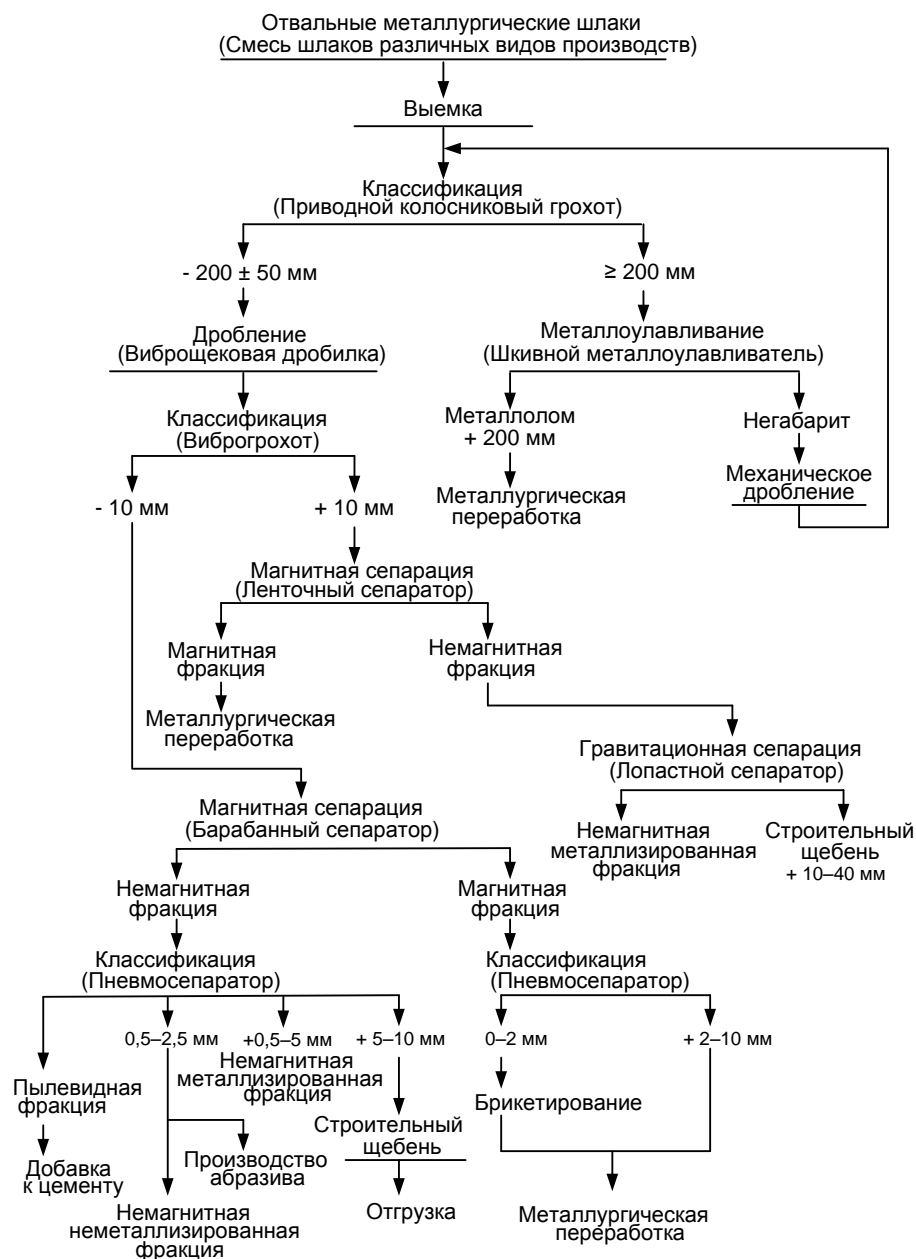


Рис. 2 – Технологическая схема комплексной переработки смеси металлургических шлаков

Процесс переработки шлака предусматривает основное обеспыливание при пневматической сепарации, однако наличие мелкой и пылевой фракций в перерабатываемой шлаковой массе приводит к запылению территории комплекса и распространению в воздухе частиц, вредных для органов дыхания, поэтому все блоки технологического комплекса должны быть оборудованы аспирационными укрытиями, улавливающими мелкодисперсные фракции.

Комплекс технологических мер по раскрытию сырья и его магнитно-гравитационной сепарации позволяет обеспечивать содержание металла в скраповом концентрате (магнитном и немагнитном) не ниже 95%. Прогнозное извлечение скрапа – не менее 90...92%. По данной технологической схеме можно перерабатывать до 100 т/ч исходной сырьевой смеси шлаков.

### Выводы

1. Разработаны две технологические схемы переработки отвальных металлургических шлаков, в одной из которых предусматривается переработка отвальных доменных шлаков, а в другой – переработка смеси отвальных металлургических шлаков.

2. В технологической схеме переработки отвальных доменных шлаков предусматривается отделение магнитной фракции, строительного щебня и путем тонкодисперсного измельчения мелкой немагнитной фракции получение вяжущего материала и микрозаполнителя для сверхпрочных бетонов.

3. В технологической схеме комплексной переработки смеси металлургических шлаков предусмотрен кроме получения строительных материалов и комплекс технологических мер по раскрытию сырья, что путем его магнитно-гравитационной сепарации позволит обеспечить содержание металла в получаемом скраповом концентрате (магнитном и немагнитном) до 95% с прогнозным извлечением скрапа не менее 90...92%.

4. Разработанная технологическая схема комплексной переработки смеси металлургических шлаков может быть использована для переработки любых отвальных металлургических шлаков, например, таких как шлаковая гора в Азовском море, образованная сбросами шлаков в море ЧАО «МК «Азовсталь». Переработка этой шлаковой горы по предлагаемой комплексной схеме позволит убрать ее из моря, исключить отравление прибрежной зоны и получить ряд ценных материалов с существенным эколого-экономическим эффектом.

### Список использованных источников:

1. Демин Б.Л. Техногенные образования из металлургических шлаков как объект комплексной переработки / Б.Л. Демин, Ю.В. Сорокин, А.И. Зимин // *Сталь*. – 2001. – № 11. – С. 99-102.
2. Панфилов М.И. Переработка шлаков и безотходная технология в металлургии / М.И. Панфилов. – М. : – Металлургия. – 1987. – 238 с.
3. Гамей А.И. Схемы переработки металлургических шлаков / А.И. Гамей, В.В. Наумкин, Н.В. Сухинова // *Сталь*. – 2007. – № 2. – С. 144-145.
4. Кравченко В.П. Гидравлическая активность доменных шлаков / В.П. Кравченко, В.А. Струтинский // *Сталь*. – 2007. – № 1. – С. 94-95.
5. Кравченко В.П. Обґрунтування параметрів струминного подрібнення при переробці і збагаченні доменних шлаків : автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.15.08 / В.П. Кравченко; Держ. вищий навч. закл. «Нац. гірн. ун-т». – Днепропетровск, 2013. – 20 с.
6. Пат. 18107 Україна, МПК В 03 С 1/00. Спосіб переробки відвальних металургійних шлаків / В.П. Кравченко, І.М. Фентісов, В.А. Струтинський, О.В. Черкасин. – № u200605806; заявл. 26.05.06; опубл. 16.10.06, Бюл. № 10. – 4 с.

### References:

1. Demin B.L., Sorokin Iu.V., Zimin A.I. Tekhnogennyye obrazovaniia iz metallurgicheskikh shlakov kak ob'ekt kompleksnoi pererabotki [Technogenic formations from metallurgical slags as an object of complex processing]. *Stal' – Steel*, 2001, no. 11, pp. 99-102. (Rus.)
2. Panfilov M.I. *Pererabotka shlakov i bezotkhodnaia tekhnologiia v metallurgii* [Slag processing and waste-free technology in metallurgy]. Moscow, Metallurgy Publ., 1987. 238 p. (Rus.)
3. Gamei A.I., Naumkin V.V., Sukhinova N.V. *Skhemy pererabotki metallurgicheskikh shlakov* [Metallurgical slag processing schemes]. *Stal' – Steel*, 2007, no. 2, pp. 144-145. (Rus.)

4. Kravchenko V.P., Strutinsky V.A. Gidravlicheskaia aktivnost' domennykh shlakov [Hydraulic activity blast furnace slag]. *Stal' – Steel*, 2007, no. 1, pp. 94-95. (Rus.)
5. Kravchenko V.P. *Obgruntuvannia parametriv struminного podribnennia pri pererobtsi i zbagachenni domennykh shlakiv*. Avtoref. diss. kand. techn. nauk [Substantiation of the parameters of jet milling in the processing and milling of blast furnace slag. Thesis of cand. tech. sci. diss.]. Dnepropetrovsk, 2013. 20 p. (Ukr.)
6. Kravchenko V.P., Fentosov I.M., Strutinsky V.A., Cherkasin A.V. *Sposib pererobki vidval'nikh metalurgiiinikh shlakiv* [Method of processing dump metallurgical slag]. Patent UA, no. 18107, 2006. (Ukr.)

Рецензент: В.А. Маслов  
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ЛГТУ»

Статья поступила 16.09.2018