

УДК 669.18

^{1,*}Еротько С. П., ¹Ошовская Е. В., ²Денисова Н. А., ²Петров П. А.¹Донецкий национальный технический университет,²Донбасский государственный технический университет

*E-mail: ersp52@mail.ru

РАЗРАБОТКА И МОДЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ ПОРОШКОВЫХ СМЕСЕЙ НА ПОВЕРХНОСТЬ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТЕРЕ

Отражены конструктивные особенности системы подачи газопорошковых смесей в ванну кислородного конвертера, предназначенного для переработки некачественной шихты и металлосодержащих отходов в условиях микрозавода. Описана методика проведения модельных исследований разработанной системы, результаты которых позволили получить исходную информацию для проектирования промышленного образца плавильного агрегата с корпусом, вращающимся вокруг наклонной продольной оси и позволяющим получать металл из жидкого чугуна и металлического лома с повышенным содержанием вредных примесей.

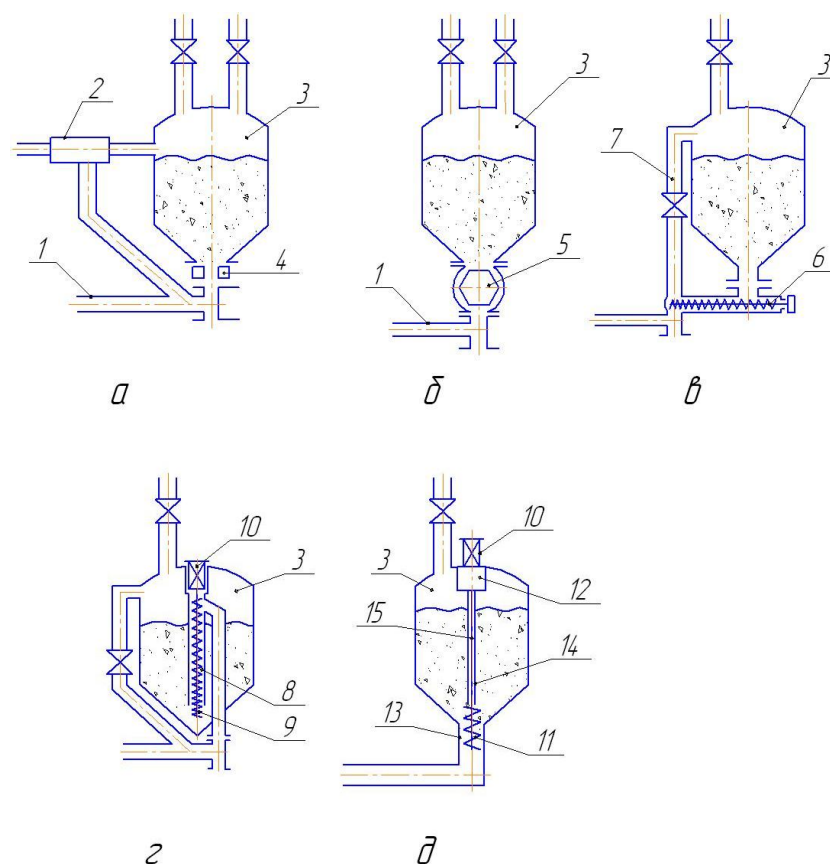
Ключевые слова: кислородный конвертер, фурма, продувка, газопорошковая смесь, бункер, шиберный питатель, физическое моделирование.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. В последние годы за рубежом активизировались работы, связанные с запуском мини- и микрозаводов по переработке промышленных и бытовых металлосодержащих отходов с использованием малотоннажных электродуговых печей и кислородных конвертеров с корпусом, вращающимся относительно наклонной продольной оси [1, 2]. Второй из указанных сталеплавильных агрегатов позволяет перерабатывать некачественную шихту с повышенным содержанием таких вредных примесей, как сера и фосфор [3, 4]. Это достигается за счет того, что для их удаления из расплава в шлак во время ведения плавки наряду с флюсами в кусковом виде используют вдувание в струе кислорода мелкодисперсных реагентов с целью интенсификации реакций, протекающих в жидкой ванне. При этом целесообразно в расплаве осуществлять одновременную подачу в составе газопорошковых смесей нескольких видов флюсов (известь, металлическая окалина, плавикомый шпат). Эффективность использования данных реагентов определяется степенью равномерности их ввода в струе кислорода через верхнюю во-

дохлаждаемую фурму. Для обеспечения вдувания с регулируемым расходом двухкомпонентной газопорошковой смеси в рабочее пространство кислородного конвертера требуется оборудование его продувочной системы специальными питателями, подающими из разных бункеров мелкодисперсные материалы в смесительную камеру, из которой образующаяся смесь по гибкому трубопроводу транспортируется в струе кислорода к фурме, совершающей внутри конвертера качение в заданном секторе. В результате ранее выполненного сопоставительного анализа конструктивного совершенства известных устройств, предназначенных для регулируемой выдачи из бункера сыпучих материалов и схематично показанных на рисунке 1, была установлена невозможность сохранения требуемого расхода одного компонента порошковой смеси во время подачи в смесительную камеру другого компонента при комплексном использовании двух пневматических дозаторов. Это обусловлено повышением давления газа в зоне смешения двух мелкодисперсных материалов, что, в свою очередь, влечет за собой уменьшение производительности каждого из двух пневматических

дозаторов [5, 6]. Таким образом, при комплексном использовании такого вида питателей затруднительно в полной мере реализовать заданную технологию одновременного регулируемого вдувания нескольких порошкообразных реагентов в жидкую металлическую ванну через одну фурму [7].

Целью работы является поиск технического решения для создания системы верхней продувки ванны кислородного конвертера двухкомпонентными порошкообразными смесями, которая обеспечивает устойчивую и регулируемую подачу ингредиентов в ванну плавильного агрегата.



1 — транспортирующий трубопровод; 2 — регулятор давления; 3 — бункер; 4 — калибрующая вставка; 5 — барабан; 6 — горизонтальный шнек; 7 — выравнивающий трубопровод; 8 — вертикальная труба; 9 — вертикальный шнек; 10 — электродвигатель; 11 — вертикальный шнек; 12 — редуктор; 13 — подающая труба; 14 — вертикальная трубка; 15 — вертикальный вал

Рисунок 1 — Дозаторы для подачи порошкообразных и гранулированных реагентов (а — пневматический; б — барабанный; в, г, д — шнековые)

Изложение материала и результаты исследований. Для решения поставленной задачи авторами был предложен вариант использования продувочной системы, реализующей пневмомеханический способ подачи реагентов в полость кислородного конвертера в струе кислорода через фурму, охлаждаемую водой [3, 4]. Конструктивная схема данной системы показана на ри-

сунке 2. Она содержит два герметичных бункера 13, закрепленных на четырех колоннах над наклонными рельсами и снабженных размещенными внутри них питателями, приводимыми в действие моторами-редукторами 14 и 15. К нижней части каждого из бункеров примыкает камера 12 связанная со смесителем 11, который соединен посредством гибкого трубопрово-

да 10 со штуцером кислородной фурмы 1. При поступлении газообразного кислорода в полость смесителя 11 частицы компонентов, подаваемые шнековыми питателями, образуют газопорошковую смесь, которая транспортируется к соплу фурмы. Сама фурма верхней своей частью закреплена на поворотной опоре в обойме 8 и с помощью кривошипно-шатунного механизма 6 может совершать качания относительно каретки 5 в пределах продолговатого отверстия колпака 2, жестко связанного с кареткой и снабженного патрубком для подсоединения газоотводящего тракта. В свою очередь, обойма 8 вместе с удерживаемой ею фурмой 1 имеет возможность поворота относительно платформы в вер-

тикальной плоскости на определенный угол с помощью кулачка 7, установленного на выходном валу мотора-редуктора 9, закрепленного на поворотной опоре. Каретка 5 снабжена ходовыми колесами 4, размещенными на двух наклонных направляющих 3, по которым может совершать возвратно-поступательное перемещение с помощью ходового винта 17, вращаемого в нужном направлении реверсивным мотором-редуктором 16.

Для проверки правильности принятого технического решения спроектировали и изготовили в масштабе 1:5 действующую натурную модель исследуемой продувочной системы (фото на рис. 3), с использованием которой провели лабораторный эксперимент.

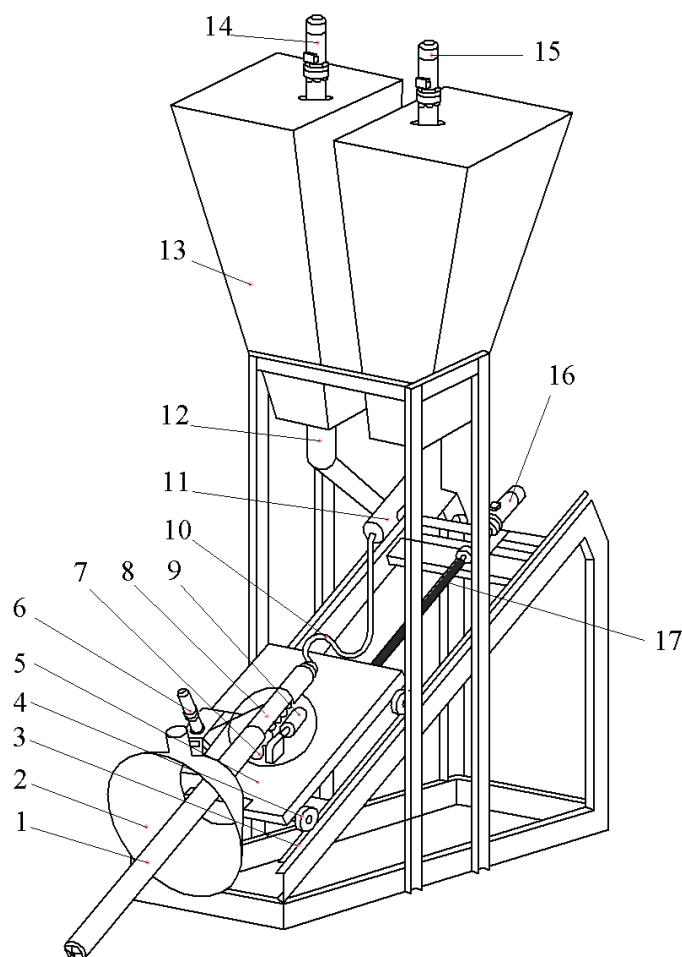
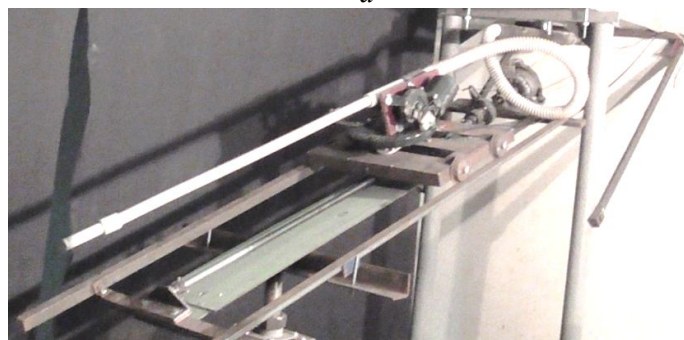


Рисунок 2 — Предложенная система верхней продувки ванны кислородного конвертера двухкомпонентной порошкообразной смесью

МАШИНОСТРОЕНИЕ



а



б

Рисунок 3 — Фрагменты основных элементов действующей натурной модели системы верхней продувки кислородного мини-конвертера: а — бункеры мелкодисперсных материалов; б — фурма и исполнительные механизмы, расположенные на наклонных направляющих

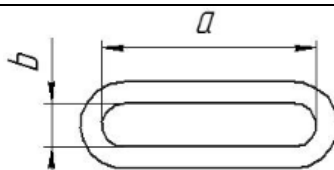
В ходе модельных исследований получили информацию о влиянии на процесс взаимодействия частиц материала с жидкой ванной расстояния между срезом сопла фурмы и свободной поверхностью жидкости, угла атаки, истекающей из сопла газопорошковой струи, плотности и долевого содержания составляющих вдуваемой смеси, а также её массового расхода.

В соответствии с рекомендациями работы [8], при моделировании обеспечили соотношение плотностей имитаторов флюсов и жидкой стали, близкое по значению к производственным условиям. Как известно, для десульфурации используют кальцинированную соду (Na_2CO_3), а для дефосфорации — флюс на основе извести и оксида железа (50 % CaO , 50 % FeO). Отношение плотностей извести и окалины к плотности жидкой стали, как известно, составляет 0,3 и 1,1. Поэтому в условиях лабораторного эксперимента при исполь-

зовании воды в качестве имитатора жидкого металла для поддержания в отмеченных пределах отношения плотностей имитаторов компонентов флюсовой смеси необходимы материалы с плотностью 0,3 и 1,1 г/см³ соответственно. Также эти материалы должны иметь цвет, который позволял бы получать контрастную картину протекающих процессов, фиксируемую при видеосъёмке. Отмеченным условиям в наибольшей мере отвечали измельченные частицы древесного угля и полиэтилена плотностью 0,25 и 1,05 г/см³ соответственно. Размер частиц находился в пределах 0,1–1,0 мм. В качестве имитатора шлакового расплава использовали минеральное масло, имеющее плотность 0,8 г/см³. Во время моделирования работы продувочной системы фурма находилась в стационарном состоянии. Форма и размеры ее сопла приведены в таблице 1.

Таблица 1

Форма и размеры сопла, использовавшегося при моделировании процесса верхней продувки ванны конвертера

| Форма сечения сопла модели фурмы | a , мм | b , мм | Площадь проходного сечения, мм ² |
|---|----------|----------|---|
|  | 16 | 2 | 31,1 |

В ходе проводившихся опытов осуществляли подачу в транспортирующий трубопровод сжатого воздуха при неизменных динамических параметрах: давлении 0,11 МПа и расходе 30 л/мин. В каждом последующем опыте при заданной скорости истечения газопорошковой струи дискретно изменяли процентное содержание ингредиентов, входящих в состав смеси, имитирующей флюсы. В частности, были смоделированы варианты вдувания одной извести и смесей, включавших в разных пропорциях известь и окалину. Указанные условия проведения экспериментов обеспечивали путем загрузки в бункеры модели отдельно имитаторов извести и окалины и поддержанием их расхода в заданных соотношениях за счет регулирования производительности каждого из двух питателей изменением частоты вращения вертикальных шнеков.

Просмотр снятых видеозаписей в режиме «стоп-кадр» (рис. 4) позволил установить следующие особенности газогидродинамических процессов, протекающих в полости модели сталеплавильного агрегата при различном сочетании учетных параметров. В случае моделирования процесса вдувания в полость конвертера мелкодисперсной извести имитировавшие её частицы древесного угля, плотность которых была в несколько раз меньше плотности воды, после удара о её поверхность отражались от неё под различным углом и продолжали движение в направлении донной части модели плавильного агрегата (рис. 4, а).

Если в состав газопорошковой смеси наряду с имитатором извести (измельченным древесным углем) входили частицы полиэтилена (имитатора окалины) с плотностью, близкой к плотности воды, моделировавшей жидкий металл, некоторая часть легковесного материала увлекалась частицами полиэтилена на небольшую глубину относительно границы раздела «вода — масло». Так, при наличии в смеси 25 % частиц полиэтилена и 75 % частиц древесного угля заглубливание последних в воду составляло порядка 5–8 мм (рис. 4, б). С увеличением доли частиц полиэтилена до 50 % в смеси, имитировавшей флюс, вдуваемый с целью дефосфорации выплавляемого металла, глубина проникновения частиц древесного угля в толщу воды возрастала. Например, для смеси, включавшей в равных долях частицы полиэтилена и древесного угля, глубина проникновения имитатора извести в воду достигала 20–25 мм (рис. 4, в), т. е. увеличивалась в 3 раза, что на практике будет способствовать увеличению поверхности контакта вдуваемого флюса с расплавом и ускорению протекания соответствующих химических процессов, способствующих удалению из него нежелательных примесей.

Таким образом, на эффективность использования порошкообразной извести, вдуваемой в струе кислорода через верхнюю фурму в полость кислородного конвертера с вращающимся корпусом, можно дополнительно влиять путем выбора рационального соотношения в составе вдуваемой смеси порошкообразных реагентов, имеющих большую насыпную плотность.

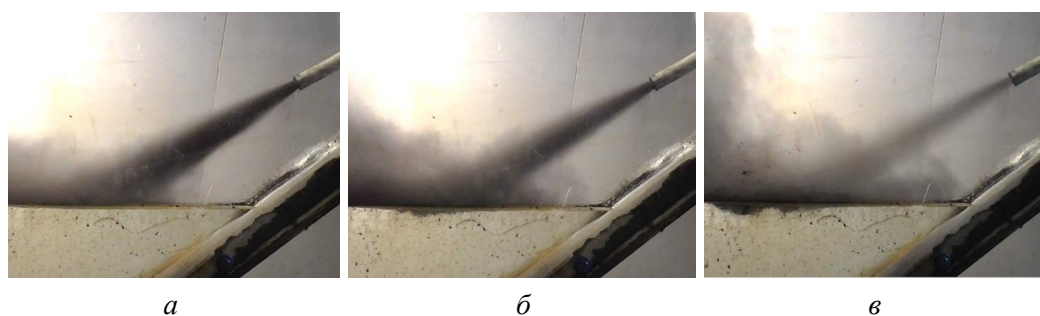


Рисунок 4 — Характер взаимодействия с поверхностью жидкой ванны газопорошковой струи при различном соотношении компонентов вдуваемой смеси: а) измельченный древесный уголь 100 %; б) измельченный древесный уголь 80 % и гранулы полиэтилена 20 %; в) измельченный древесный уголь 50 % и гранулы полиэтилена 50 %

Выводы и направления дальнейших исследований. Результаты, полученные в ходе модельных исследований, использованы при проектировании опытно-промышленного образца продувочной системы кислородного мини-конвертера с вращающимся корпусом, который предназначается для реализации технологии переработки некачественной шихты, а также промышленных и бытовых металлосодержащих отходов в условиях мини- и микроразводов [9]. Запуск и эффективная работа

таких предприятий позволят улучшить экологическую обстановку в местах расположения отвалов и свалок за счет постепенного уменьшения объемов накопившихся там побочных продуктов промышленного производства. Инвестиционные вложения, связанные с введением в строй заводов такого масштаба, составляют примерно 300–400 долларов на тонну производимой в год стали, в связи с чем срок окупаемости инвестиционных затрат не превысит 3-х лет [10].

Список источников

1. Смирнов А. Н., Сафонов В. М., Дорохова Л. В. *Металлургические мини-заводы*. Донецк : ООО «Норд-Пресс», 2005. 465 с.
2. Овчинников А. М. *Модернизация оборудования и реконструкция заводов чёрной металлургии за рубежом // Черная металлургия : бюл. ин-та «Черметинформация», 2016. № 2. С. 96–100.*
3. Еронько С. П., Климович Н. А. *Перспективы использования и проблематика создания мини-агрегата для переработки некачественной шихты и металлосодержащих отходов // Черная металлургия : бюл. ин-та «Черметинформация», 2016. № 5. С. 26–31.*
4. *Кислородный конвертер для переработки чугуна и металлического лома с повышенным содержанием вредных примесей : пат. 2623934 Рос. Федерация / С. М. Горбатюк, С. П. Еронько, Н. А. Климович ; № 2016111484 ; заявл. 29.03.2016 ; опубл. 29.06.2017, Бюл. № 19.*
5. Большаков В. И., Седуш В. С., Лифенко Н. Т. *Увеличение точности дозирования порошковых и пылевидных материалов пневмотранспортными установками // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2002. № 1. С. 85–87.*
6. Лифенко Н. Т., Седуш В. С., Сидоренко Г. Н. *Питатели для систем пневматической подачи порошковых и зернистых материалов в металлургические расплавы // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2002. № 10. С. 15–153.*
7. Кузнецов Ю. М. *Одновременно регулируемая инжекция нескольких видов порошков в жидкий металл // Сталь. 2004. № 1. С. 17–22.*
8. *Физическое моделирование технических систем сталеплавильного производства : учебное пособие / С. П. Еронько [и др.]. Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. 324 с.*
9. Еронько С. П., Ошовская Е. В., Стародубцев Б. И. *Совершенствование системы вдувания газопорошковых смесей в ванну конвертера с вращающимся корпусом // Черная металлургия : бюл. ин-та «Черметинформация». 2017. № 7. С. 75–81.*

10. Концепция построения и развития микро-заводов по переработке некачественной шихты и металлосодержащих отходов / С. П. Еронько [и др.] // Черная металлургия : бюл. ин-та «Черметинформация». 2019. Т. 75. № 9. С. 1029–1036.

© Еронько С. П., Ошовская Е. В.

© Денисова Н. А., Петров П. А.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Харламовым Ю. А., д.т.н., проф., зав. каф. АТ ЛГУ им. В. Даля Замотой Т. Н.

Статья поступила в редакцию 27.11.2023.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Еронько Сергей Петрович, д-р техн. наук, профессор, зав. каф. механического оборудования заводов черной металлургии им. проф. В. Я. Седуша
Донецкий национальный технический университет,
г. Донецк, Донецкая Народная Республика, Россия,
e-mail: ersp52@mail.ru

Ошовская Елена Владимировна, канд. техн. наук, доцент каф. механического оборудования заводов черной металлургии им. проф. В. Я. Седуша
Донецкий национальный технический университет,
г. Донецк, Донецкая Народная Республика, Россия

Денисова Наталья Анатольевна, канд. техн. наук, доцент, зав. каф. машин металлургического комплекса
Донбасский государственный технический университет,
г. Алчевск, Луганская Народная Республика, Россия

Петров Павел Александрович, канд. техн. наук, доцент каф. машин металлургического комплекса
Донбасский государственный технический университет,
г. Алчевск, Луганская Народная Республика, Россия

***Yeronko S. P., Oshovskaya Ye. V.** (Donetsk National Technical University, Donetsk, Donetsk People's Republic, Russia, *e-mail: ersp52@mail.ru), **Denisova N. A., Petrov P. A.** (Donbass State Technical University, Alchevsk, Lugansk People's Republic, Russia)

DEVELOPMENT AND MODEL TESTING OF POWDER MIXTURES ON LIQUID METAL SURFACES IN AN OXYGEN CONVERTER

The system's design features for supplying gas powder mixtures to the oxygen converter bath, designed for processing low-quality charge and metal-containing waste in the conditions of a micro-plant, are shown. The method for conducting model research for the developed system is described, the results of which allowed to obtain initial information for designing the industrial sample of a melting unit with a body, rotating around the inclined longitudinal axis and allowing the production of metal from liquid cast iron and metal scrap with an increased content of harmful impurities.

Key words: basic oxygen converter, tuyere, blow, gas powder mixture, bunker, auger feeder, physical modelling.

References

1. Smirnov A. N., Safonov V. M., Dorohova L. V. Metallurgical mini-plants [Metallurgicheskie mini-zavody]. Donetsk : OOO "NORD-PRESS", 2005. 465 p. (rus)
2. Ovchinnikov A. M. Modernization of equipment and reconstruction of steel plants abroad [Modernizatsiya oborudovaniya i rekonstruktsiya zavodov chyornoj metallurgii za rubezhom]. Ferrous Metallurgy. Bulletin of the Institute "Chermetinformatsiya". 2016. No. 2. Pp. 96–100. (rus)

3. Yeronko S. P., Klimovich N. A. Advantages and disadvantages of creating a mini-unit to processing the low-quality charge and metal-containing wastes [Perspektivy ispol'zovaniya i problematika sozdaniya mini-agregata dlya pererabotki nekachestvennoj shihty i metallsoderzhashchih othodov]. *Ferrous Metallurgy. Bulletin of the Institute "Chermetinformaciya"*. 2016. No. 5. Pp. 26–31. (rus)

4. Gorbatyuk S. M., Yeronko S. P., Klimovich N. A. Oxygen converter for iron and metal scrap processing with high impurity content. Patent 2623934 RF. No. 2016111484. Date of filing 29.03.2016. Published 29.06.2017. Bulletin No. 12.

5. Bol'shakov V. I., Sedush V. S., Lifenko N. T. Increase of dosing accuracy of powder and dust materials by pneumatic transport installations [Uvelichenie tochnosti dozirovaniya poroshkovykh i pylevidnykh materialov pnevмотransпортными установками]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. 2002. No. 1. Pp. 85–87. (rus)

6. Lifenko N. T., Sedush V. S., Sidorenko G. N. Feeders for pneumatic powder and grit feed systems into metallurgical melts [Pitateli dlya sistem pnevmатической подачи poroshkovykh i zernistykh materialov v metallurgicheskie rasplavy]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. 2002. No. 10. Pp. 15–153. (rus)

7. Kuznecov Yu. M. Simultaneously adjustable injection of several types of powders into liquid metal [Odnovremенно регулируемая инъекция нескольких видов порошков в жидкий металл]. *Stal*. 2004. No. 1. Pp. 17–22. (rus)

8. Yeronko S. P. [et al.] Physical modeling of technical steel production systems: study letter [Fizicheskoe modelirovanie tekhnicheskikh sistem staleplavil'nogo proizvodstva: uchebnoe posobie]. Moscow ; Vologda : Infra-Inzheneriya, 2021. 324 p. (rus)

9. Yeronko S. P., Oshovskaya E. V., Starodubcev B. I. Improvement of gas powder mixtures blowing system into the converter bath with rotating body [Sovershenstvovanie sistemy vдуvaniya gazoporoshkovykh smesey v vannu konvertera s vrashchayushchimsya korpusom]. *Ferrous Metallurgy. Bulletin of the Institute "Chermetinformaciya"*. 2017. No. 7. Pp. 75–81. (rus)

10. Yeronko S. P. [et al.] Concept of construction and development of micro-plants for processing the low-quality charge and metal-containing wastes [Konceptiya postroeniya i razvitiya mikro-zavodov po pererabotke nekachestvennoj shihty i metallsoderzhashchih othodov]. *Ferrous Metallurgy. Bulletin of the Institute "Chermetinformaciya"*. 2019. Vol. 75. No. 9. Pp. 1029–1036. (rus)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yeronko Sergey Petrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Mechanical Equipment of Ferrous Metallurgy Plants named after prof. Sedush V. Ya.
Donetsk National Technical University,
Donetsk, Donetsk People's Republic, Russia,
e-mail: ersp52@mail.ru

Oshovskaya Yelena Vladimirovna, PhD in Engineering, Assistant Professor, Department of Mechanical Equipment of Ferrous Metallurgy Plants named after prof. Sedush V. Ya.
Donetsk National Technical University,
Donetsk, Donetsk People's Republic, Russia

Denisova Natalia Anatolievna, PhD in Engineering, Assistant Professor, Head of the Department of Metallurgical Complex Machine
Donbass State Technical University
Alchevsk, Lugansk People's Republic, Russia

Petrov Pavel Aleksandrovich, PhD in Engineering, Assistant Professor of the Department of Metallurgical Complex Machine
Donbass State Technical University
Alchevsk, Lugansk People's Republic, Russia