

УДК 669.18

EDN: HWCOKS

^{1,*}Еротько С. П., ²Петров П. А., ¹Мечик С. В., ²Зозуля Ф. С., ¹Прилуцкий М. И.

¹Донецкий национальный технический университет,
²Донбасский государственный технический университет

*E-mail: ersp52@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШЛАКООБРАЗУЮЩИХ СМЕСЕЙ ПРИ ИХ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ПОДАЧЕ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЫ МНЛЗ

Обоснованы требования к системам механизированной подачи шлакообразующих смесей в кристаллизаторы машин непрерывного литья заготовок, выполнение которых обеспечивает экономию дорогостоящих сыпучих материалов, улучшает условия формирования корки отливаемого слитка и ее взаимодействия со стенками металлоприёмника, что способствует снижению колебаний нагрузки на привод его механизма качания.

Ключевые слова: кристаллизатор, заготовка, шлакообразующая смесь, механизированная подача, экономический эффект.

Подача порошкообразных или гранулированных шлакообразующих смесей (ШОС) в кристаллизаторы МНЛЗ является, как известно, обязательной технологической операцией, проводимой с целью улучшения условий формирования твердой корки отливаемой заготовки и ее силового взаимодействия с поверхностью рабочих стенок кристаллизатора [1–3]. Анализ первых практических результатов применения шлакообразующих смесей показал, что технико-экономическая эффективность их использования при разливке стали на МНЛЗ в значительной мере зависит не только от набора и свойств ингредиентов, входящих в состав смеси [4–6], но и от равномерности ее подачи и рассредоточения

по поверхности металла, контактирующей с воздушной средой. Последнее условие является определяющим при литье заготовок крупного поперечного сечения круглой и прямоугольной форм. Поэтому рабочим в процессе литья таких заготовок для поддержания толщины слоя материала на зеркале металла в кристаллизаторе, оговоренных технологической инструкцией, приходится в течение длительного времени выполнять монотонную работу, связанную с порционной подачей с помощью деревянного гребка сыпучего материала на свободную поверхность расплава (фото на рис. 1). При этом, как правило, не удается достичь стабильных показателей эффективности использования ШОС.



Рисунок 1 — Подача шлакообразующей смеси в кристаллизатор МНЛЗ вручную

С целью исключения действия человеческого фактора при выполнении указанной технологической операции и улучшения условий труда разливщиков стали в течение последнего десятилетия ведутся работы по созданию систем механизированной подачи ШОС. За прошедшее время в мире запатентованы десятки конструкций механических, пневматических и пневмомеханических устройств, призванных по замыслу авторов изобретений исключить ручной труд на данном производственном участке, лишь некоторые из них получили промышленное применение. В связи с этим совершенствование конструкции и обоснование рациональных рабочих параметров систем механизированной подачи ШОС являются важными научно-прикладными задачами, которые имеют особую значимость для условий отливки заготовок крупного поперечного сечения.

Целью работы является обобщение и освещение результатов накопленного авторами опыта внедрения отечественных систем механизированной подачи ШОС в составе импортных слабовых МНЛЗ в условиях кислородно-конвертерных цехов двух металлургических комбинатов (Донбасса) и их использования для выполнения принятой

в стране программы импортозамещения в области сталеплавильного производства.

В феврале 2008 года на кафедре механического оборудования заводов черной металлургии ДонНТУ, в соответствии с заключенным договором с фирмой «Солотвин», в течение 6 месяцев была разработана, спроектирована и изготовлена первая отечественная система механизированной подачи шлакообразующих смесей, предназначенная для применения на одном из ручьев слабовой МНЛЗ фирмы Siemens VAI в конвертерном цехе Алчевского металлургического комбината (фото на рис. 2). Она включает раму, смонтированную на самоходной тележке промежуточного ковша с тыльной стороны кристаллизатора. На самой раме закреплены две продольные балки, на которых установлена каретка, имеющая возможность относительного перемещения с помощью цепного привода вдоль широкой стенки кристаллизатора и несущая расходный бункер, снабженный шнековым питателем. Питатель обеспечивает подачу смеси на зеркало металла в кристаллизаторе в непрерывном режиме с заданным регулируемым расходом в соответствии со скоростью разливки.



Рисунок 2 — Промышленный образец системы подачи ШОС, разработанный на кафедре МОЗЧМ ДонНТУ

Благодаря ранее проведенным исследованиям методом натурального моделирования, с целью предварительной проверки правильности принятых технических решений еще на стадии разработки, предложенная система в ходе производственных испытаний в полной мере подтвердила свое соответствие предъявляемым требованиям относительно надежности работы, регулирования расходных характеристик и простоты эксплуатации и обслуживания. В сравнении с ручной подачей она обеспечивала требуемую степень равномерности распределения ШОС на свободной поверхности жидкой стали в кристаллизаторе (фото на рис. 3).

Авторский надзор за работой системы, проводившийся в течение 3-х лет, и результаты сопоставительного анализа показателей технико-экономической эффективности, достигнутых при ее использовании в сравнении с подачей ШОС вручную на втором ручье обслуживаемой МНЛЗ, позволили установить следующее. При механизированной подаче шлакообразующей смеси, благодаря более равномерному ее распределению на свободной поверхности жидкой стали в кристаллизаторе и образованию жидкой шлаковой прослойки по всему периметру поперечного сечения заготовки, улучшились условия взаимодействия формирующейся корочки с рабочими стенками кристаллизатора, что снизило колебания нагрузки на привод механизма его качания. Для сравнения на рисунке 4 приведены данные системы контроля параметров работы двух механизмов качания кристаллизаторов слябовой МНЛЗ, одновременно функционирующих при различных способах подачи шлакообразующей смеси [7].

При эксплуатации второй такой установки с 2011 по 2014 год в конвертерном цехе металлургического комбината «Азовсталь» на одном из ручьев слябовой МНЛЗ фирмы Danieli, как показали результаты статистической обработки данных о потреблении ШОС марки SYN THERM GS 1015/P в течение 2013 года, ее расход при переходе с ручной подачи на механизированную снизился в среднем на 8–15 % (табл. 1).



Рисунок 3 — Механизированная подача шлакообразующей смеси в кристаллизатор слябовой МНЛЗ

Наряду с этим наличие модуля поиска и анализа данных в системе АСУ ТП этой МНЛЗ позволило выполнить сравнительную оценку изменений по ходу литья на ней заготовок таких технологических параметров функционирования кристаллизатора, как тепловой поток и его асимметрия по узким стенкам при ручной и механизированной подаче ШОС. Установлено, что в случае механизированного ввода шлакообразующей смеси колебания теплового потока в кристаллизаторе уменьшаются в 1,5 раза, а асимметрия теплового потока по противоположным (узким) стенкам кристаллизатора — в 1,6 раза.

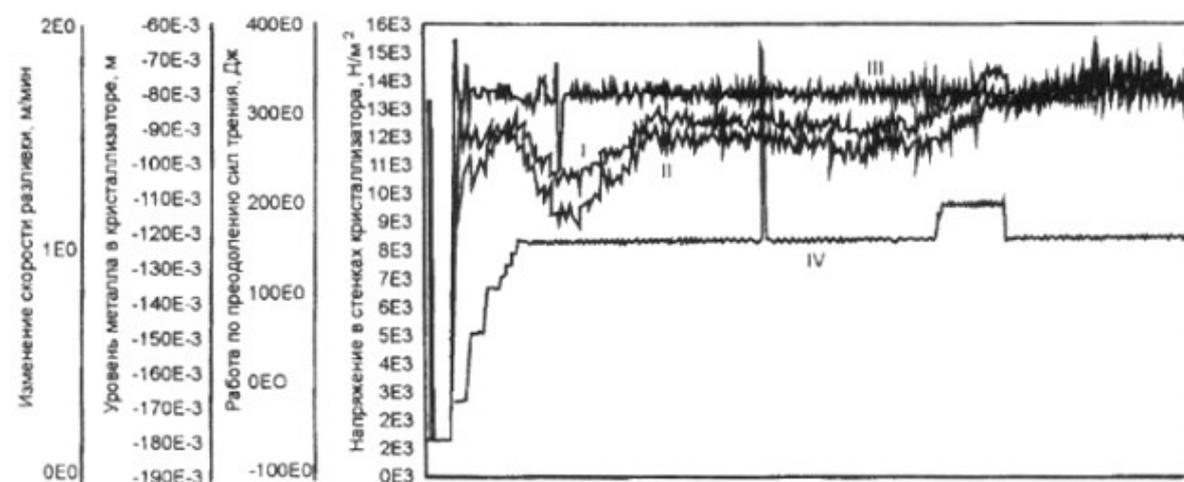
Это обусловлено стабилизацией толщины слоя ШОС в зазоре между поверхностью слитка и стенками кристаллизатора благодаря равномерному распределению смеси по всему зеркалу жидкой стали, что в итоге положительно сказалось на качестве получаемой заготовки.

Различие схем компоновки технологического оборудования в зоне размещения промежуточного ковша машин непрерывного литья слябовых заготовок, эксплуатировавшихся в конвертерном цехе ком-

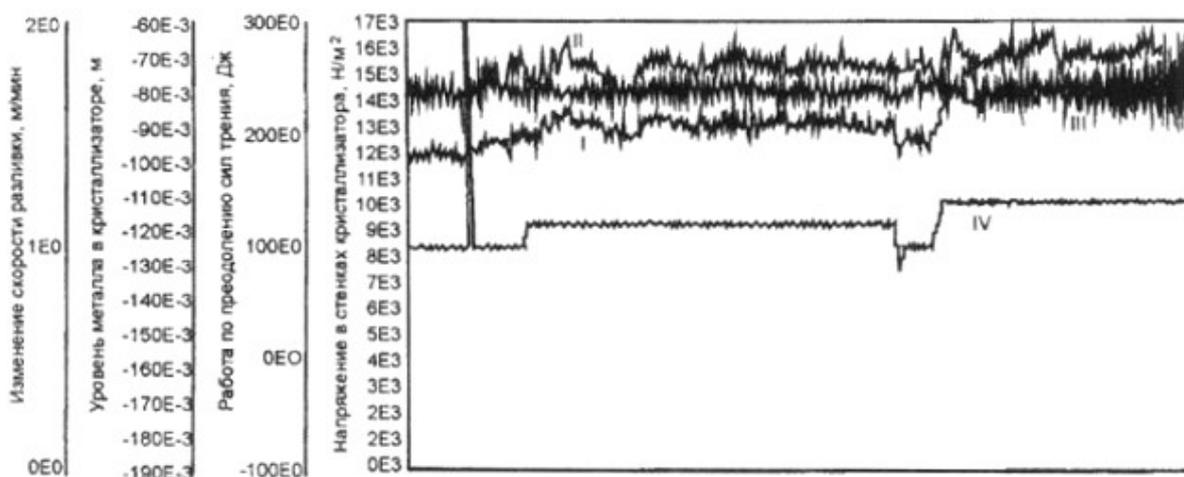
МАШИНОСТРОЕНИЕ

бината «Азовсталь», потребовало разработки другой конструктивной схемы системы механизированной подачи ШОС (фото на рис. 5), предназначенной для обслуживания МНЛЗ конструкции УЗТМ. Она содержит раму, снабженную четырьмя ходовыми колесами, попарно установленными на двух путевых балках, уложенных на рабочей площадке перпендикулярно к широкой стенке кристаллизатора. Благодаря возможности перемещения по этим балкам на расстоянии 2 м, установка может занимать две фиксированные позиции: рабочую и парковочную. При ее

нахождении в рабочей позиции подающий носок шнекового питателя располагается над передней широкой стенкой кристаллизатора, а сам питатель, установленный вместе с расходным бункером на самоходной каретке, имеет возможность перемещения по двум направляющим вдоль рамы параллельно кристаллизатору. При необходимости выполнения операций по обслуживанию разливочного узла промежуточного ковша установку откатывают в позицию парковки, обеспечивая тем самым свободный доступ к устройству быстрой смены погружного стакана.



а



б

I — работа по преодолению сил трения, Дж; II — напряжения в стенках кристаллизатора, МПа;
 III — уровень металла в кристаллизаторе, м; IV — скорость разливки, м/мин

Рисунок 4 — Зафиксированные параметры режимов работы механизмов качания кристаллизаторов при ручной (*а*) и механизированной (*б*) подачах ШОС

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Таблица 1

Показатели сокращения расхода шлакообразующей смеси при переходе с ручной подачи на механизированную

| Месяц 2013 года | Ручей МНЛЗ с подачей смеси вручную | | | Ручей МНЛЗ с механизированной подачей смеси | | | Сокращение удельного расхода ШОС при механизированной подаче | |
|--------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------|
| | Масса отлитых заготовок, т | Общий расход смеси, т | Удельный расход смеси, кг/т | Масса отлитых заготовок, т | Общий расход смеси, т | Удельный расход смеси, кг/т | кг/т | % |
| | | | | | | | | |
| январь | 82987,57 | 49,460 | 0,596 | 83092,93 | 45,540 | 0,548 | 0,048 | 8,1 |
| февраль | 30096,35 | 16,432 | 0,546 | 30860,64 | 15,368 | 0,498 | 0,048 | 8,8 |
| март | 50147,89 | 32,194 | 0,642 | 48369,24 | 28,150 | 0,582 | 0,060 | 9,3 |
| апрель | 41227,81 | 26,468 | 0,625 | 42897,80 | 23,722 | 0,553 | 0,072 | 11,5 |
| май | 35722,40 | 20,540 | 0,575 | 34750,88 | 16,854 | 0,485 | 0,090 | 15,6 |
| июнь | 58675,17 | 36,026 | 0,614 | 61416,93 | 33,779 | 0,550 | 0,064 | 10,4 |
| июль | 30794,96 | 18,723 | 0,608 | 29689,88 | 16,270 | 0,548 | 0,060 | 9,8 |
| август | 26081,33 | 14,162 | 0,543 | 27891,27 | 13,666 | 0,490 | 0,053 | 9,7 |
| сентябрь | 32387,09 | 19,820 | 0,612 | 33525,42 | 18,371 | 0,548 | 0,064 | 10,4 |
| октябрь | 46537,53 | 27,829 | 0,598 | 48550,20 | 25,780 | 0,531 | 0,067 | 11,2 |
| ноябрь | 56765,40 | 34,909 | 0,615 | 59220,10 | 30,79 | 0,520 | 0,095 | 15,4 |
| декабрь | 43360,56 | 24,88 | 0,574 | 44350,15 | 21,17 | 0,492 | 0,082 | 14,3 |



Рисунок 5 — Система механизированной подачи ШОС, размещаемая перед промежуточным ковшом МНЛЗ

Техническая новизна отечественных разработок, успешно прошедших промышленную проверку, защищена тремя патентами [8–10].

С учетом результатов тестовых испытаний внесли коррективы в конструктивное исполнение корпуса шнекового дозатора, который снабдили дроссельной заслонкой, позволявшей регулировать в сторону уменьшения отверстия для забора гранулированной шлакообразующей смеси, обладающей высокой текучестью. Наряду с этим также предусмотрели возможность размещения механического рыхлителя, работающего вместе с вращающимся шнеком от общего привода и устраняющего подвисание порошкообразной смеси, склонной к слеживанию и сводообразованию внутри бункера. Такие конструктивные доработки позволили в итоге обеспечить устойчивую работу шнекового дозатора вне зависимости от физических свойств мелкодисперсной смеси.

В настоящее время, в соответствии с соглашением о научно-техническом сотрудничестве между кафедрами механического оборудования заводов черной металлургии ДонНТУ и машин металлургического комплекса ДонГТУ, намечена перспектива дальнейшего развития систем механизированной подачи ШОС на основе включения в их состав блоков автоматизированного управления работой структурных механизмов с учетом меняющихся таких параметров процесса непрерывного литья заготовок, как размер поперечного сечения получаемого слитка, скорость его вытягивания из кристаллизатора, а также гранулометрический состав вводимой смеси и ее теплофизические свойства. Речь идет о необходимости разработки программных средств, позволяющих в режиме реального времени регулировать объемную подачу ШОС в кристаллизатор МНЛЗ на основании сигналов, подаваемых специальными

датчиками, о разности температур жидкой стали и на поверхности шлакового слоя, а также скорости разливки. С учетом поступившей информации по заданному алгоритму системным блоком будут формироваться управляющие команды на увеличение или уменьшение скоростей вращения шнека питателя и его перемещения вдоль широкой стенки кристаллизатора, благодаря чему должен поддерживаться оптимальный режим поступления на поверхность жидкой стали в кристаллизатор шлакообразующей смеси, обеспечивающий минимизацию ее расхода и улучшение условий формирования корки отливаемой заготовки.

Подтвержденные на практике преимущества механизированной подачи в кристаллизаторы МНЛЗ шлакообразующей смеси (снижение ее расхода и улучшение качества поверхности отливаемых заготовок) позволяют получить заметный экономический эффект, за счет которого срок окупаемости затрат на внедрение инновационной разработки не превышает 10 месяцев.

Насущная необходимость в быстром решении задач импортозамещения в области сталеплавильного производства требует ускорения работ, связанных с созданием и внедрением передовых отечественных образцов технологического оборудования, способных конкурировать с лучшими зарубежными аналогами и обеспечить повышение показателей технико-экономической эффективности производства литых заготовок крупного сечения. Перспективным направлением дальнейшего совершенствования систем механизированной подачи ШОС в кристаллизаторы машин непрерывного литья заготовок следует признать использование в их составе блоков автоматизированного управления работой структурных механизмов с учетом меняющихся параметров процесса непрерывного литья заготовок.

Список источников

1. Анализ тепловой работы кристаллизатора слябовой МНЛЗ / А. Н. Смирнов [и др.] // *Сталь*. 2011. № 5. С. 19–21.

2. Исследование гармонических режимов качания кристаллизаторов и влияние их характеристик на качество поверхности непрерывнолитых слитков / А. Ю. Цупрун [и др.] // *Металлург.* 2012. № 7. С. 40–44.

3. Цупрун А. Ю., Федосов А. В., Пащук Д. В. Разработка средств поиска и анализа технологических параметров работы кристаллизаторов МНЛЗ // *Металлургические процессы и оборудование.* 2013. № 4 (34). С. 32–38.

4. Производство теплоизолирующих и шлакообразующих смесей для современных МНЛЗ / С. В. Шлемко [и др.] // *50 лет непрерывной разливки стали в Украине : сб. науч. тр. / под ред. проф., д.т.н. Д. А. Дюдкина, проф., д.т.н. А. Н. Смирнова. Донецк : Ноулидж (донецкое отделение), 2010. С. 213–223.*

5. Комплексное использование высокоосновных теплоизолирующих, шлакообразующих рафинировочных и разливочных смесей при высокоскоростной разливке на слябовой МНЛЗ / О. Б. Исаев [и др.] // *Черная металлургия : бюл. науч.-техн. и эконом. информ.* 2007. № 7. С. 25–31.

6. Шлакообразующие смеси ТСК для кристаллизатора МНЛЗ ЗАО «АзовЭлектроСталь» / М. А. Шумаков [и др.] // *50 лет непрерывной разливки стали в Украине : сб. науч. тр. конф. Донецк, 2010. С. 507–514.*

7. Разработка устройства для непрерывной подачи шлакообразующей смеси в кристаллизаторы слябовой МНЛЗ / С. П. Еронько [и др.] // *Черная металлургия : бюл. науч.-техн. и эконом. информ.* 2009. № 4. С. 36–38.

8. Устройство для непрерывной дозированной подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор слябовой машины непрерывного литья заготовок : пат. 96887 Украина / С. П. Еронько, М. В. Юценко ; № а201014774 ; заявл. 09.12.2009; опубл. 10.11.2011, Бюл. № 23. 4 с.

9. Устройство для непрерывной дозированной подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор слябовой машины непрерывного литья заготовок : пат. 107731 Украина / С. П. Еронько [и др.] ; № а201305843 ; заявл. 07.05.2013 ; опубл. 10.02.2015, Бюл. № 3. 6 с.

10. Устройство для подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор слябовой машины непрерывного литья заготовок : пат. 2630913 Рос. Федерация / С. П. Еронько [и др.] ; № 2015156690 ; заявл. 29.12.2015 ; опубл. 14.09.2017, Бюл. № 26. 3 с.

© Еронько С. П., Мечик С. В., Прилуцкий М. И.

© Петров П. А., Зозуля Ф. С.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Харламовым Ю. А., д.т.н., проф., зав. каф. ОПМ ДонНТУ Нечепевым В. Г.

Статья поступила в редакцию 21.06.2024.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

Мечик Станислав Валерьевич, ведущий инженер каф. механического оборудования заводов черной металлургии им. В. Я. Седуша
Донецкий национальный технический университет,
г. Донецк, Донецкая Народная Республика, Россия

Зозуля Федор Сергеевич, аспирант каф. машин металлургического комплекса
Донбасский государственный технический университет,
г. Алчевск, Луганская Народная Республика, Россия

Прилуцкий Максим Игоревич, аспирант каф. механического оборудования заводов черной
металлургии им. В. Я. Седуша
Донецкий национальный технический университет,
г. Донецк, Донецкая Народная Республика, Россия

***Eron'ko S. P.** (Donetsk National Technical University, Donetsk, Donetsk People's Republic, Russia, *e-mail: ersp52@mail.ru), **Petrov P. A.** (Donbass State Technical University, Alchevsk, Lugansk People's Republic, Russia), **Mechik S. V.** (Donetsk National Technical University, Donetsk, Donetsk People's Republic, Russia), **Zozulya F. S.** (Donbass State Technical University, Alchevsk, Lugansk People's Republic, Russia), **Prilutskiy M. I.** (Donetsk National Technical University, Donetsk, Donetsk People's Republic, Russia)

INCREASING THE TECHNICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF MOULD POWDERS FOR THEIR MECHANIZED FEEDING INTO CCM CRYSTALLIZERS

The requirements to the systems of mechanized feeding of mould powders into crystallizers of continuous casting machines are substantiated, the fulfillment of which provides economy of expensive bulk materials, improves conditions for the ingot crust formation and its interaction with the walls of the metal receiver, which contributes to reduction of load fluctuations on the drive of its oscillating mechanism.

Key words: crystallizer, blank, mould powder, mechanical feeding, cost impact.

References

1. Smirnov A. N. [et al.]. Analyzing the thermal operation of the slab CCM crystallizer [Analiz teplovoj raboty kristallizatora slyabovoj MNLZ]. *Steel*. 2011. No. 5. Pp. 19–21. (rus)
2. Cuprun A. Yu. [et al.]. Studying the harmonic modes of crystallizer oscillations and the influence of their characteristics on the surface quality of continuous cast ingots. [Issledovanie garmonicheskikh rezhimov kachaniya kristallizatorov i vliyanie ih harakteristik na kachestvo poverhnosti nepreryvnykh slitkov]. *Metallurgist*. 2012. No. 7. Pp. 40–44. (rus)
3. Cuprun A. Yu., Fedosov A. V., Pashchuk D. V. Developing tools for searching and analyzing technological parameters of CCM crystallizer operation [Razrabotka sredstv poiska i analiza tekhnologicheskikh parametrov raboty kristallizatorov MNLZ]. *Metallurgical processes and equipment*. 2013. No. 4 (34). Pp. 32–38. (rus)
4. Shlemko S. V. [et al.]. Production of heat-insulating and mould powder for modern CCMs [Proizvodstvo teploizoliruyushchih i shlakoobrazuyushchih smesey dlya sovremennykh MNLZ]. *50 let nepreryvnoj razlivke stali v Ukraine : sb. nauchn. tr. pod red. prof., d.t.n. D. A. Dyudkina, prof., d.t.n. A. N. Smirnova. Doneck : Noulidzh (doneckoe otdelenie)*, 2010. Pp. 213–223. (rus)
5. Isaev O. B. [et al.]. Complex use of high-base heat-insulating, slag-forming refining and casting mixtures at high-speed casting on slab CCM [Kompleksnoe ispol'zovanie vysokoosnovnykh teploizoliruyushchih, shlakoobrazuyushchih rafinirovochnykh i razlivochnykh smesey pri vysokoskorostnoj razlivke na slyabovoj MNLZ]. *Chernaya metallurgiya : byul. nauch.-tekhn. i ekonom. inform.* 2007. No. 7. Pp. 25–31. (rus)
6. Shumakov M. A. [et al.]. TSC mould powders for CCM crystallizer of ZAO "AzovElektroStal" [Shlakoobrazuyushchie smesi TSK dlya kristallizatora MNLZ ZAO "AzovElektroStal"]. *50 let nepreryvnoj razlivke stali v Ukraine : sb. nauch. tr. konf. Doneck*. 2010. Pp. 507–514. (rus)
7. Eron'ko S. P. [et al.]. Development of a device for continuous mould powder feeding into crystallizers of slab CCMs [Razrabotka ustrojstva dlya nepreryvnoj podachi shlakoobrazuyushchej smesi v kristallizatory slyabovoj MNLZ]. *Chernaya metallurgiya : byul. nauch.-tekhn. i ekonom. inform.* 2009. No. 4. Pp. 36–38. (rus)

8. Eron'ko S. P., Yushchenko M. V. Device for continuous dosed mould powder feeding into the crystallizer of a slab continuous casting machine. Patent 96887 Ukraine. No. a201014774. Submitted 09.12.2009. Published 10.11.2011. Bulletin No. 23. 4 p.

9. Eron'ko S. P. [et al.]. Device for continuous dosed mould powder feeding into the crystallizer of a slab continuous casting machine. Patent 107731 Ukraine. No. a201305843. Submitted 07.05.2013. Published 10.02.2015. Bulletin No. 3. 6 p.

10. Eron'ko S. P. [et al.]. Device for continuous mould powder feeding into the crystallizer of a slab continuous casting machine. Patent 2630913 RF. No. 2015156690. Submitted 29.12.2015 Published 14.09.2017. Bulletin No. 26. 3 p.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Eron'ko 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

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

Mechik Stanislav Valerievich, Leading Engineer 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

Zozulya Fyodor Sergeievich, Postgraduate of the Department of Metallurgical Complex Machines
Donbass State Technical University,
Alchevsk, Lugansk People's Republic, Russia

Prilutskiy Maxim Igorevich, Postgraduate 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