

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

¹Донецкий национальный технический университет,

²Донбасский государственный технический университет

*E-mail: ersp52@mail.ru

РАЗРАБОТКА И МОДЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМЫ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ПОДАЧИ ШЛАКООБРАЗУЮЩЕЙ СМЕСИ В КРИСТАЛЛИЗАТОР МНЛЗ ПРИ ОТЛИВКЕ ЗАГОТОВОК КРУПНОГО КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

Отображены конструктивные особенности системы механизированной подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор блюмовой МНЛЗ, предназначенной для производства заготовки круглого сечения диаметром 600÷800 мм. Обоснованы конструктивные параметры подающей системы, при которых обеспечивается равномерное распределение сыпучей смеси на свободной поверхности жидкой стали с учетом скорости вытягивания заготовки из кристаллизатора.

Ключевые слова: кристаллизатор, блюмовая заготовка, шлакообразующая смесь, бункер, шнек, подающий носок.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Необходимость получения исходных заготовок, имеющих форму и размеры поперечного сечения, близкие к геометрическим параметрам массивных деталей, которые предназначены для производства машин и механизмов, используемых в ветроэнергетике, на железнодорожном и водном транспорте, обусловила ввод в эксплуатацию новых уникальных машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Речь идет о машинах, позволяющих отливать блюмовые заготовки круглого сечения диаметром 600, 800 и 1200 мм [1]. Известно, что современная технология непрерывной разливки стали предполагает в обязательном порядке подачу сыпучей шлакообразующей смеси (ШОС) на зеркало металла в кристаллизаторе с целью улучшения условий формирования твердой корки отливаемой заготовки и ее силового взаимодействия с поверхностью рабочих стенок кристаллизатора [2, 3]. При этом эффективность использования указанных смесей зависит от равномерности их распределения на свободной поверхности жидкой стали, которая может быть обеспечена лишь в случае механизированной подачи сыпучего материала,

в связи с чем возникает насущная необходимость в создании систем, позволяющих исключить ручной труд во время выполнения указанной технологической операции в условиях работы новых блюмовых МНЛЗ. Принятие технических решений, связанных с достижением поставленной цели, требует учета имеющегося опыта в разработке подобных устройств, применяемых в производстве круглых заготовок с диаметром поперечного сечения до 400 мм.

Целью работы являлось создание установок, имеющей высокие рабочие характеристики и обеспечивающей минимизацию затрат при реализации механизированной подачи шлакообразующих смесей в условиях непрерывного литья блюмовых заготовок большого круглого сечения.

Изложение материала и результатов исследования. На основании результатов выполненного анализа достоинств и недостатков известных отечественных и зарубежных аналогов [4, 5] авторами была предложена усовершенствованная система, позволяющая повысить степень равномерности распределения ШОС на свободной поверхности жидкой стали в кристаллизаторах МНЛЗ при производстве заготовок большого круглого сечения.

Состав и принцип действия данной системы поясняет рисунок 1. Она включает пустотелую балку 16 квадратного сечения, консольно закрепленную на стойке 12 с возможностью поворота на 90° в горизонтальной плоскости с помощью кривошипно-рычажного механизма с электрическим приводом 13. На пустотелой балке 16 размещено основание 19 с направляющими 20, в которых находятся ходовые колеса тележки 21, имеющей возможность продольного возвратно-поступательного перемещения винтовым механизмом, включающим ходовой винт 17, установленный в подшипниковых опорах 15 и 18, гайку 15, связанную тягами 10 с тележкой, а также электродвигатель 11. На тележке смонтированы две системы механизированной подачи ШОС, в состав которых входит питающий бункер 5 с примыкающим к его нижней части горизонтально расположенным шнековым дозатором 4, установленным на раме тележки 21 и приводимым в действие мотором-редуктором 8 с регулируемой частотой вращения выходного вала.

Для равномерного распределения смеси по всему поперечному сечению кристаллизатора во время работы дозирующей системы подающий носок 2 совершает качение в вертикальной плоскости относительно продольной оси шнекового дозатора 4 в секторе $20\text{--}40$ градусов, что обеспечивают кривошипно-шатунный механизм 9 и коленчатый вал 1. Внутри бункера 5 в подшипниковых опорах размещен ворошитель 6, имеющий возможность поворота с помощью кривошипно-рычажного механизма 7 и устраняющий тем самым подвигание мелкодисперсных порошкообразных материалов при их слеживании. Благодаря такой кинематической схеме разработанной системы, все ее структурные механизмы, выполняющие операции по обрушению порошкообразного материала в бункере, регулируемой подаче смеси в кристаллизатор и ее равномерному распределению по поверхности металла вокруг погружного стакана 3, приводятся в действие одним мотором-редуктором 8.

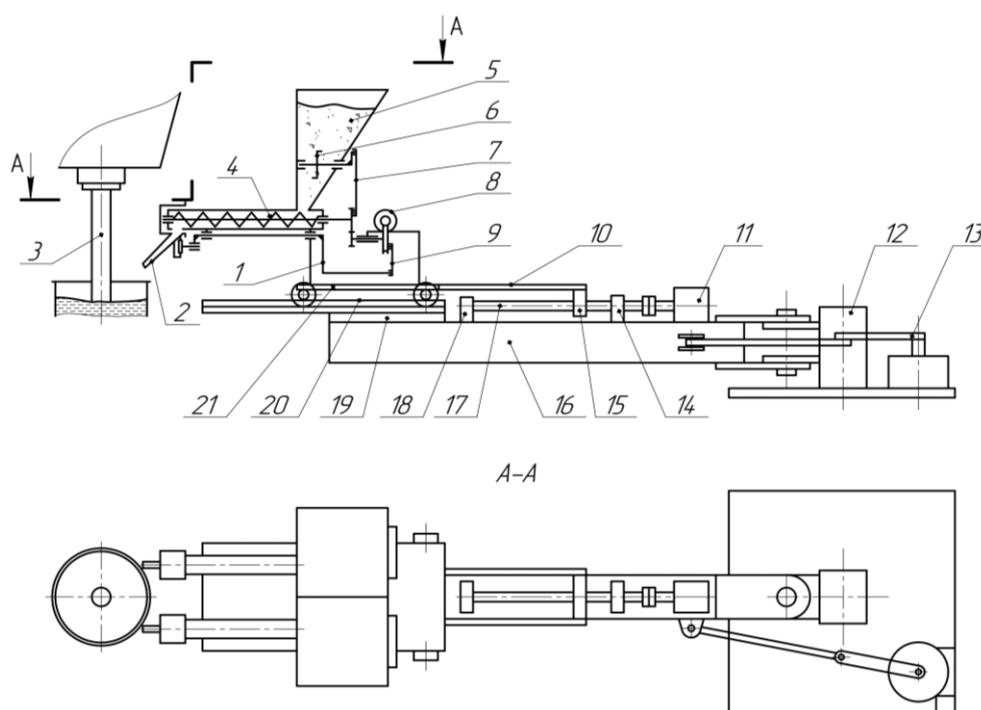


Рисунок 1 — Конструктивная схема предлагаемой системы механизированной подачи ШОС в кристаллизатор блюмовой МНЛЗ

С целью проверки работоспособности предложенной системы по ранее опубликованной методике [6] рассчитали, спроектировали и изготовили в масштабе 1:2 ее действующую натурную модель (фото на рис. 2), на которой с учетом рекомендаций работы [7] провели эксперименты, связанные с изучением параметров функционирования структурных механизмов системы, выполняющих перемещение тележки, подачу шлакообразующей смеси из бункера к кристаллизатору и равномерное распределение по его сечению мелкодисперсного материала, а также перевод самой системы в рабочую позицию из положения парковки.

Контроль крутящих моментов, развиваемых при работе приводами структурных механизмов исследуемой системы, осуществляли с использованием тензорезисторного преобразователя, конструктивно выполненного в виде гильзы, установленной в подшипниках скольжения и помещенной в металлическую коробку с прозрачной передней стенкой (фото на рис. 3, а). На по-

верхность гильзы под углом 45° к ее продольной оси наклеены фольговые датчики сопротивления 200 Ом, включенные в мостовую схему. Передаваемый гильзой момент определяли путем измерения ее деформаций кручения. Съем электрического сигнала с измерительной диагонали моста сопротивлений и подключение к нему источника питания обеспечены за счет установленных на гильзе и изолированных от ее корпуса медных колец, контактирующих своей наружной поверхностью с токопроводящими шинами, концы которых соединены с разъемом, встроенным в боковую стенку коробки.

Для измерения силы, передаваемой рычагом модели механизма поворота консоли, использовали второй тензорезисторный преобразователь (фото на рис. 3, б). Он включал два рабочих фольговых датчика, наклеенных на поверхность рычага вдоль оси симметрии, и два компенсационных, которые располагались перпендикулярно рабочим. Датчики соединены по мостовой схеме, подключенной к разъему.

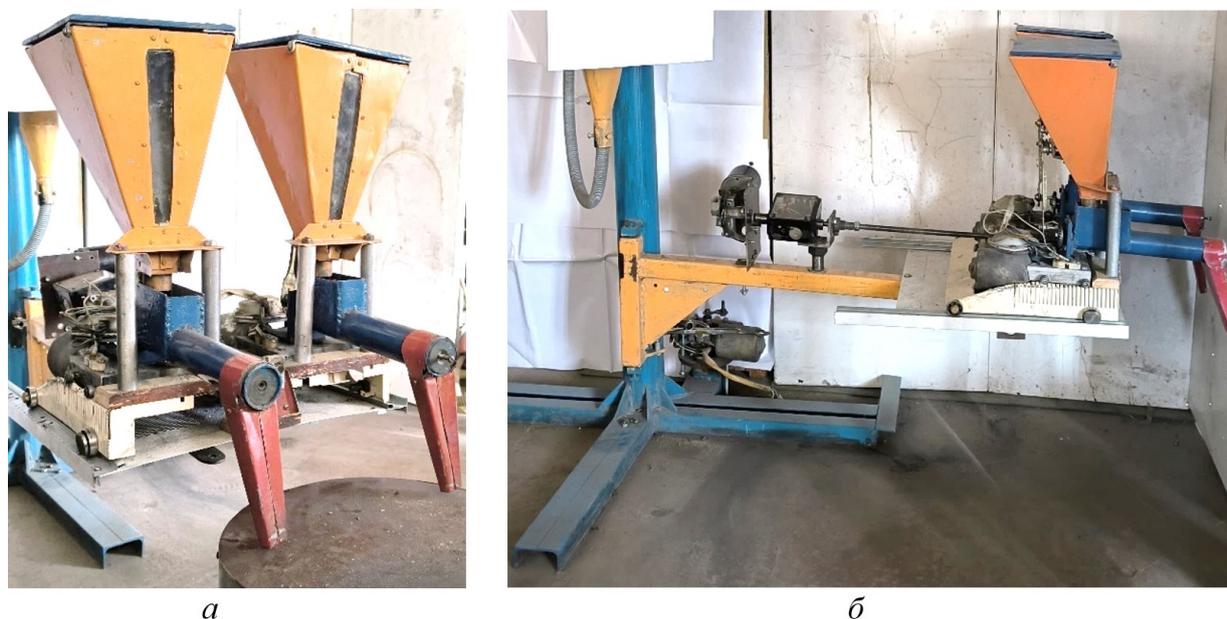
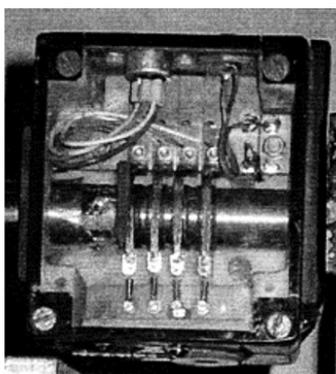


Рисунок 2 — Общий вид натурной модели системы механизированной подачи шлакообразующей смеси в рабочей позиции (а) и положении парковки (б)



а



б

Рисунок 3 — Конструктивное исполнение тензорезисторных преобразователей для контроля крутящего момента (а) и силы (б)

Указанные тензорезисторные преобразователи с помощью экранированных кабелей подключали к измерительному комплексу, в состав которого входили усилитель переменного тока, аналого-цифровой преобразователь и ПЭВМ. Электрический сигнал, снимаемый с выхода моста сопротивлений, после усиления и преобразования в цифровой код поступал в системный блок для обработки и последующей распечатки. Обработку фиксируемых сигналов осуществляли при помощи прикладной программы Oscilloscope фирмы L-Card, поставляемой в комплексе с АЦП. Частота дискретизации аналогового сигнала составляла 10 кГц.

Перед началом проведения измерений предварительно выполнили тарировку преобразователей. Данные тарировки сохранялись в памяти ПЭВМ для последующего их применения при обработке результатов лабораторного эксперимента.

В соответствии с планом экспериментальных исследований последовательно провели серию контрольных измерений технологических нагрузок, действующих на структурные механизмы модели разработанной системы механизированной подачи

шлакообразующей смеси в кристаллизатор блюмовой МНЛЗ. Для механизма перемещения тележки в качестве технологической нагрузки принимали момент сопротивления повороту ходового винта $M_{хв}$, преодолеваемый приводом механизма перемещения тележки. В этом случае тензорезисторный преобразователь выполнял функцию муфты, передающей вращение винту от выходного вала мотора-редуктора. На рисунке 4 показан характерный вид сигналов, регистрировавшихся при возвратно-поступательном перемещении тележки, несущей питающие бункеры и шнековые дозаторы.

Используя преобразователь в качестве муфты, измерили также суммарный крутящий момент M_c , требуемый для одновременного вращения шнека, поворота лопастей ворошителя и качания подающего носка при функционировании системы, обеспечивающей транспортирование шлакообразующей смеси из питающего бункера к кристаллизатору. Вид фиксируемого в этом случае сигнала показан на рисунке 5.

Нагрузку, действующую на кривошипно-рычажный механизм во время перевода с его помощью системы подачи смеси из положения парковки в рабочую позицию,

контролировали с помощью второго преобразователя, позволявшего фиксировать изменение во времени силы F_p , передаваемой рычагом от кривошипа к консоли при ее повороте на угол 90° (рис. 6).

Погрешность измерений, выполненных по описанной методике, как показали результаты статистической обработки полученных данных, не превышала 7 %, что приемлемо для их практического использования.

Результаты выполненных экспериментальных исследований на действующей натурной модели разработанной системы механизированной подачи шлакообразующих смесей в кристаллизатор при производстве заготовок крупного круглого сечения подтвердили правильность принятых конструктивных решений и позволили получить исходную информацию о характере изменения нагрузок, действующих на ее структурные механизмы.

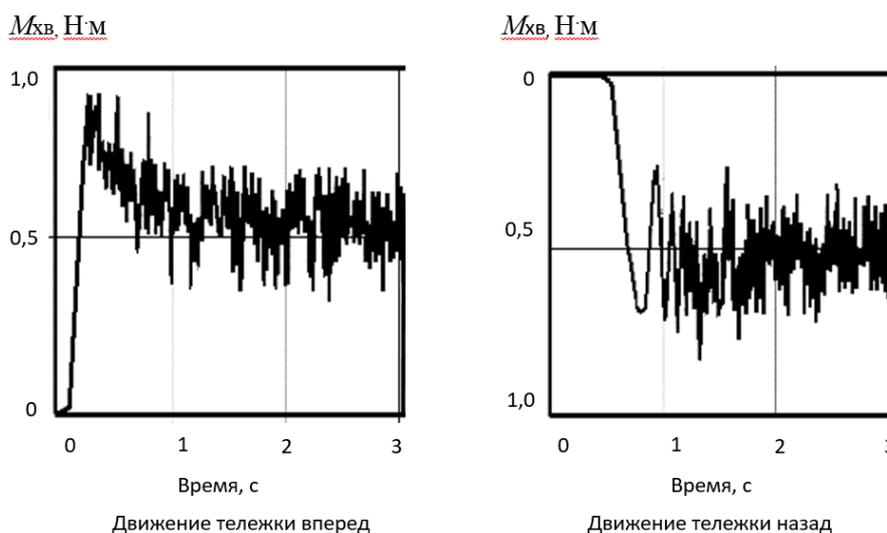


Рисунок 4 — Записи сигналов при контроле крутящего момента, развиваемого приводом механизма перемещения тележки

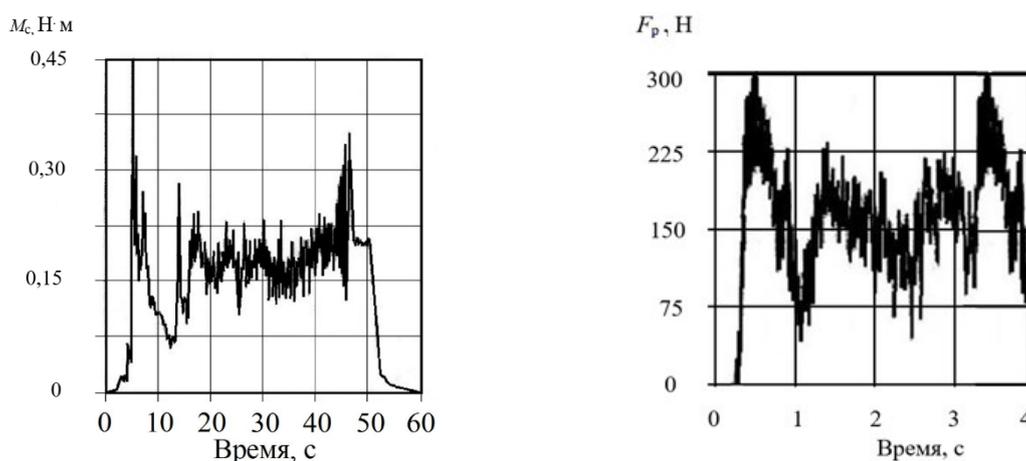


Рисунок 5 — Характерный вид регистрировавшегося сигнала при контроле крутящего момента, одновременно передаваемого шнеку, лопастям ворошителя и подающему носку

Рисунок 6 — Характерный вид сигнала, регистрировавшегося при контроле нагрузки, передаваемой рычагом механизма модели поворота консоли

Выводы и направления дальнейших исследований. Данные модельных экспериментов, послужат базовой основой при проектировании промышленных образцов разработанной системы механизированной подачи шлакообразующей смеси в кристаллизаторы при непрерывном литье круглых блюмовых заготовок диаметром от 600 до 800 мм. Использование предложенной разработки в сталеплавильных цехах отечественных металлургических предприятий позволит сократить на 10÷15 % расход дорогостоящей шлакообразующей смеси, повысить качество по-

верхности отливаемой заготовки и улучшить условия труда разливщиков стали, освободив их от выполнения вручную операции, связанной с необходимостью равномерного распределения сыпучего материала на зеркале металла в кристаллизаторе. Срок окупаемости финансовых затрат, связанных с внедрением в производство выполненной авторами разработки, не превысит одного года, что подтверждено практикой применения подобных систем в конвертерных цехах двух металлургических комбинатов Донбасса.

Список источников

1. *Xingcheng Special Steel is the first in the world to cast 1200-millimeter round blooms // Iron & Steel Review. 2022. Vol. 65. № 8. URL: <https://www.marketsteel.com/news-details/new-world-record-in-steel-production.html>.*
2. *Процессы непрерывной разливки / А. Н. Смирнов [и др.]. Донецк : ДонНТУ, 2002. 536 с.*
3. *Куклев А. В., Лейтес А. В. Практика непрерывной разливки стали. М. : Металлургиздат, 2011. 432 с. EDN QNCXMX*
4. *Ганин Д. Р., Лицин К. В., Шевченко Е. А. Обзор и анализ устройств для подачи шлакообразующих смесей в кристаллизаторы машин непрерывного литья заготовок // Черная металлургия : бюл. ин-та «Черметинформация». 2018. № 1. С. 58–64. EDN YSCZOO*
5. *Опыт разработки и внедрения систем механизированной подачи шлакообразующих смесей в кристаллизаторы МНЛЗ / С. П. Еронько [и др.] // Черная металлургия : бюл. ин-та «Черметинформация». 2020. Т. 76. № 10. С. 994–1003. EDN PAOYAH. DOI: 10.32339/0135-5910-2020-10-994-1003*
6. *Расчет и конструирование системы механизированной подачи шлакообразующих смесей в кристаллизатор блюмовой МНЛЗ / С. П. Еронько [и др.] // Сборник научных трудов ДонГТИ. 2021. Вып. 24 (67). С. 91–98. EDN AQHWRC*
7. *Физическое моделирование технических систем сталеплавильного производства : учебное пособие / С. П. Еронько [и др.]. Москва — Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. 324 с.*

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

Статья поступила в редакцию 15.01.2024.

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

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

***Yeronko S. P.** (Donetsk National Technical University, Donetsk, Donetsk People's Republic, Russia, *e-mail: ersp52@mail.ru), **Petrov P. A.**, **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)

DEVELOPMENT AND MODEL TESTING OF MECHANIZED FEEDING OF MOULD FLUX TO THE CCM CRYSTALLIZER AT CASTING LARGE CIRCULAR BILLETS

There have been given the design features of mechanized feeding of mould flux to the CCM crystallizer designed for producing the circular billet with a diameter of 600÷800 mm. The structural parameters of feeding system have been substantiated, in which a uniform distribution of loose mixture on the free surface of liquid steel is ensured, considering the rate of billet extraction from crystallizer.

Key words: crystallizer, bloom billet, mould flux, bunker, mixing screw, feeding pump.

References

1. Xingcheng Special Steel is the first in the world to cast 1200-millimeter round blooms. *Iron & Steel Review*. 2022. Vol. 65. No. 8. URL: <https://www.marketsteel.com/news-details/new-world-record-in-steel-production.html>.
2. Smirnov A. N. [et al.] *Continuous casting processes [Processy nepreryvnoj razlivki]*. Donetsk : DonNTU, 2002. 536 p. (rus)
3. Kuklev A. V., Lejtes A. V. *Continuous steel casting practice [Praktika nepreryvnoj razlivki stali]*. M. : Metallurgizdat, 2011. 432 p. (rus) EDN QNCXMX
4. Ganin D. R., Licin K. V., Shevchenko E. A. *Overview and analysis of devices that deliver mould flux to continuous casting machines crystallizers [Obzor i analiz ustrojstv dlya podachi shlakoobrazuyushchih smesey v kristallizatory mashin nepreryvnogo lit'ya zagotovok]*. *Ferrous Metallurgy. Bulletin of the Institute "Chermetinformaciya"*. 2018. No. 1. Pp. 58–64. (rus) EDN YSCZOO
5. Yeronko S. P. [et al.] *Experience in development and model testing of mechanized feeding of mould flux to the CCM crystallizer [Opyt razrabotki i vnedreniya sistem mekhanizirovannoj podachi shlakoobrazuyushchih smesey v kristallizatory MNLZ]*. *Ferrous Metallurgy. Bulletin of the Institute "Chermetinformaciya"*. 2020. Vol. 76. No. 10. Pp. 994–1003. (rus) EDN PAOYAH. DOI: 10.32339/0135-5910-2020-10-994-1003
6. Yeronko S. P. [et al.] *Design and construction of mechanized feeding of mould flux to the CCM bloom crystallizer [Raschet i konstruirovaniye sistemy mekhanizirovannoj podachi shlakoobrazuyushchih smesey v kristallizator blyumovoj MNLZ]*. *Scientific works collection of DonSTI*. 2021. Iss. 24 (67). Pp. 91–98. (rus) EDN AQHWRC
7. Yeronko S. P. [et al.] *Physical modeling of steel engineering systems: study letter [Fizicheskoe modelirovaniye tekhnicheskikh sistem staleplavil'nogo proizvodstva : uchebnoye posobie]*. Moscow — Vologda : Infra-Inzheneriya, 2021. 324 p. (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

Petrov Pavel Aleksandrovich, PhD in Engineering, Assistant Professor of Department of Metallurgical Complex Machines

Donbas State Technical University,
Alchevsk, Lugansk People's Republic, Russia

Zozulya Fyodor Sergeievich, Postgraduate Student, Department of Metallurgical Complex Machines

Donbas State Technical University,
Alchevsk, Lugansk People's Republic, Russia

Prilutskiy Maksim Igorevich, Postgraduate Student 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