

ИНФОРМАЦИОННОЕ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 004.896

[https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-1\(42\)-59-66](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-1(42)-59-66)

Ошурков В.А., Егорова Л.Г., Леднов А.В., Антипанов И.Д.

Магнитогорский государственный технический университет им Г.И. Носова

**ЧЕЛОВЕКО-МАШИННАЯ СИСТЕМА НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ
ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ: ФУНКЦИЯ ОБЪЁМНОЙ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ
И СЕМФОРНАЯ СИСТЕМА**

Целью научного исследования является построение функции объёмной насыпной плотности материалов в рабочих пространствах металлургических агрегатов. В качестве объекта исследования выбрана крупнотоннажная дуговая сталеплавильная печь (180 т). В качестве предмета исследования используется имитационная модель процесса загрузки шихтовых материалов в дуговой сталеплавильной печи. Исследование проводилось на базе Магнитогорского государственного технического университета им Г.И. Носова и Магнитогорского металлургического комбината. При исследовании применялись методы системного анализа, методы причинно-следственного анализа и методы эмпирического исследования. В данной работе: описаны компоненты и взаимодействие комплекса методик для описания процесса перемещения фрагментов металлического лома между рабочими пространствами металлургических агрегатов; построена методика формирования функции объёмной насыпной плотности материалов в рабочих пространствах металлургических агрегатов; построена функциональная схема алгоритмического обеспечения семафорной системы модуля движения шихтовых материалов для отображения величины объёмной насыпной плотности фрагментов металлического лома на SCADA АСУТП плавки ДСП-180. Выполнение методики формирования функции объёмной насыпной плотности материалов позволит определить значение объёмной насыпной плотности материалов в рабочих пространствах металлургических агрегатов и оценку наполненности объёма рабочего пространства металлургических агрегатов. Визуализация значения и оценки объёмной насыпной плотности шихтовых материалов в рабочих пространствах металлургических агрегатов позволит оператору принимать решения о загружаемых шихтовых материалах. Результаты исследования предполагаются к использованию при разработке алгоритмического обеспечения человеко-машинного модуля движения шихтовых материалов между рабочими объёмами металлургических агрегатов в условиях электросталеплавильного цеха для проведения вычислительных экспериментов.

Ключевые слова: дуговая сталеплавильная печь, насыпная плотность шихты, функция насыпной плотности, металлический лом, семафорная система, визуализация заполнения объема.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие современных информационно-телекоммуникационных технологий способствуют появлению новых тенденций в построении структуры человеко-машинных или эргодических систем для автоматизированных систем управления технологических процессов и производств. Не является исключением и металлургическое производство, которое в настоящее время оснащается новым оборудованием. Требования потребителя к повышенному качеству готовой продукции заставляют совершенствовать технологии производственных процессов, начиная с самых ранних этапов подготовки сырья и получения полуфабриката. Учитывая многостадийность процесса получения металлургической продукции [1] и многоэтапность каждой стадии, появляется новый вызов в построении человеко-машинных систем, с помощью которых возможно выполнить интеллектуальную поддержку принятия решений для больших систем.

Одним из сложных вопросов технологии выплавки стали в дуговой сталеплавильной печи является определение электрических режимов работы в зависимости от требований заказчика и свойств получаемой конечной продукции [2, 3]. Основой для достижения этих требований является качество используемого сырья, и в частности, поступающих шихтовых материалов в

дуговую сталеплавильную печь. В рамках проводимого исследования к параметрам качества шихтовых материалов относятся: химический состав металлического лома, фракционность металлического лома, структура шихтовых материалов. Фракционность металлического лома определяет насыпную плотность шихтовых материалов, загружаемых в рабочее пространство дуговой сталеплавильной печи и в последствии выбор электрических режимов работы агрегата.

Вопросами наполнения рабочих пространствах металлургических агрегатов шихтой занимаются российские и зарубежные ученые авторы. Авторы [4, 5] предлагают использование рационального соотношения загружаемых материалов, а именно изменение порядка формирования слоёв металлического лома в рабочем пространстве дуговой сталеплавильной печи. В работах [6-12] представлены технологии заполнения рабочих пространств металлургических агрегатов, адаптированные к конкретным конструкциям и условиям выплавки стали. В теоретических исследованиях [13-18] предлагаются упрощенные методики и способы определения насыпной плотности шихтовых материалов при условии их равномерного распределения по рабочему пространству агрегата. Однако при наличии в составе шихтовых материалов крупногабаритных кусковых фрагментов существует высокая вероятность образования эффекта «кострения», даже после процедуры утрамбовки лома поверхностью загрузочной бадьи [19, 20].

Пилотажный эксперимент с использованием физической модели и теории подобия показал, что вероятность возникновения очагов «кострения» в рабочих пространствах металлургических агрегатов:

- с шихтой мелких размеров невысока и составляет от 0 до 0,2%;
- с шихтой средних размеров составляет от 0,5 до 1%;
- с шихтой, включающей фрагменты негабаритных размеров, составляет более 1,14% [20].

Таким образом, в настоящее время остаются актуальными проблемы, снижающие эффективность управления технологическим процессом выплавки стали в дуговой сталеплавильной печи, такие как:

- отсутствие математических моделей, описывающих процесс движения шихтовых материалов между рабочими пространствами специального оснащения и металлургических агрегатов (совок – бадья – рабочее пространство дуговой сталеплавильной печи);
- отсутствие модулей человеко-машинных систем для интеллектуальной поддержки выбора электрического режима выплавки стали на стадиях подготовки и загрузки шихтовых материалов.

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ФУНКЦИИ ОБЪЕМНОЙ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В РАБОЧИХ ПРОСТРАНСТВАХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ

Построение функции объемной насыпной плотности материалов в рабочих пространствах металлургических агрегатов базируются на исследованиях технологического процесса движения шихтовых материалов

между металлургическими агрегатами по инструкции [21] и результатах исследования модельных экспериментов [19, 20]. По результатам исследования построен комплекс методик для описания процесса перемещения фрагментов металлического лома между рабочими пространствами металлургических агрегатов (рис. 1). Комплекс включает две методики: методика имитационного моделирования перемещения материалов между рабочими объемами и их наполнения; методика определения объемной насыпной плотности шихтовых материалов в рабочем дуговой сталеплавильной печи.

На рис. 1 введены сокращения и обозначения: J1 – перекресток асинхронное «И», означающий, что все предшествующие процессы должны быть завершены; J7-J14 – перекрестки асинхронные «ИЛИ», означающий, что один или несколько предшествующих / следующих процессов должны быть завершены / запущены.

Методики основаны на процедурном принципе последовательного выполнения действий.

Выполнение первой методики из комплекса позволяет построить прямоугольную сетку (дискретность точек разбиения сетки – 1 мм), на плоскости сечения в которой размещаются объекты из библиотеки фрагментов шихтовых материалов [20] (рис. 2).

На рис. 2 введены сокращения и обозначения: 0 и 1 – возможные значения ячейки, определяющие наличие элементов шихтовых материалов в ячейке, где 0 – элемент фрагмента отсутствует, 1 – элемент фрагмента присутствует; X, Y, Z – оси декартовой системы координат.

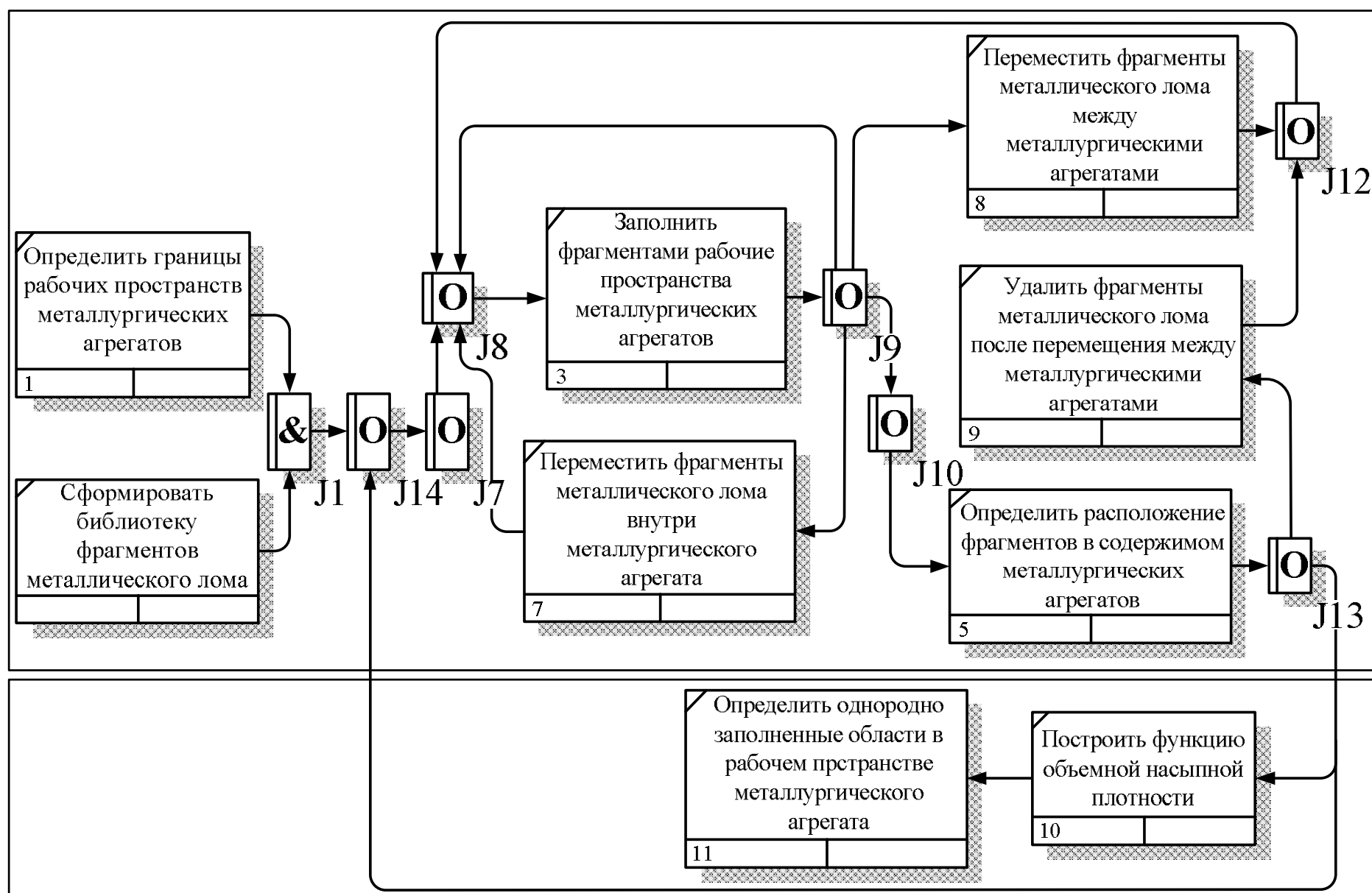


Рис. 1. Компоненты и взаимодействие методик для описания процесса перемещения фрагментов металлического лома между рабочими пространствами металлургических агрегатов

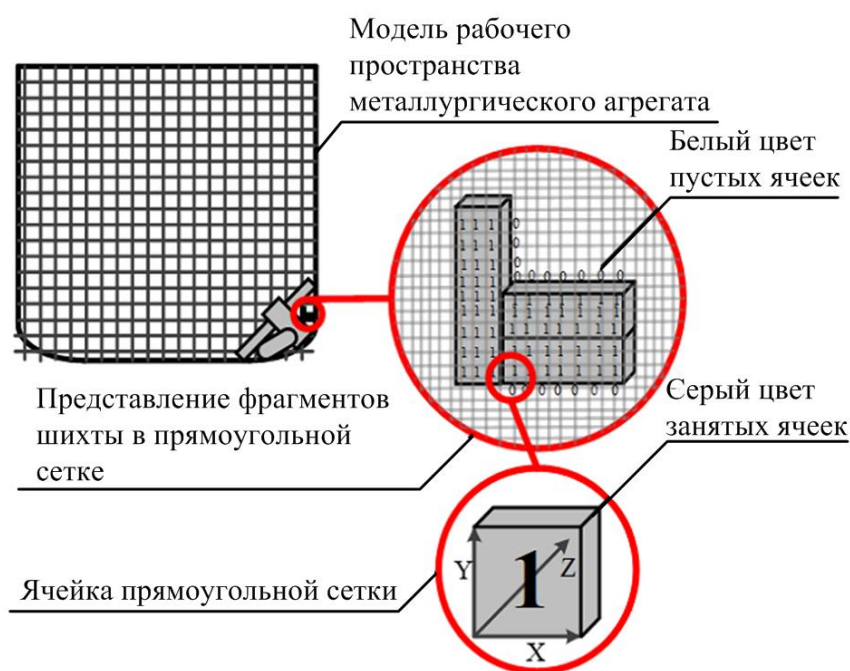


Рис. 2. Компоненты и взаимодействие методик для описания процесса перемещения фрагментов металлического лома между рабочими пространствами металлургических агрегатов

В рамках второй методики формируется функция объёмной насыпной плотности фрагментов металлического лома в рабочем пространстве дуговой сталеплавильной печи, которая содержит следующие этапы:

1. Определить множество рабочих пространств металлургических агрегатов путём ввода переменной, характеризующей это множество

$$E = \{0, 1, 2\}, \quad (1)$$

где E – множество, характеризующее рабочие пространства металлургических агрегатов и специального оснащения; 0 – рабочее пространство оснащения – «совок»; 1 – рабочее пространство оснащения – «загрузочная бадья»; 2 – рабочее пространство металлургического агрегата – «дуговая сталеплавильная печь».

2. Определить рабочее пространство металлургических агрегатов из множества значений E по условиям:

$$V_m = \begin{cases} V_s, & \text{если } E = 0; \\ V_b, & \text{если } E = 1; \\ V_e, & \text{если } E = 2, \end{cases} \quad (2)$$

где V_m – выбранный объём рабочего пространства металлургического агрегата, мм³; V_s – объём рабочего пространства специального оснащения – «совок»; V_b – объём рабочего пространства специального оснащения – «загрузочная бадья»; V_e – объём рабочего пространства металлургического агрегата – «дуговая сталеплавильная печь».

3. Определить объёмы рабочих пространств металлургических агрегатов и специального оснащения.

3.1. Определить объём рабочего пространства специального оснащения «совок»:

$$V_s = (a_1 b_1 c_1) + (a_2 b_2 c_2), \quad (3)$$

где V_s – объём рабочего пространства специального оснащения «совок»; $a_1 b_1 c_1$ и $a_2 b_2 c_2$ – ребра параллелепипеда, из которых строится форма рабочего пространства специального оснащения «совок», мм.

3.2. Определить объём рабочего пространства специального оснащения «загрузочная бадья»:

$$V_b = \left(\pi r_1^2 \cdot h_1 \right) + \left(\pi r_2^2 \left(R - \frac{1}{3} h_2 \right) \right), \quad (4)$$

где V_b – объём рабочего пространства специального оснащения «загрузочная бадья»; r_1 – радиус цилиндрической формы металлургического агрегата «загрузочная бадья», мм; h_1 – высота цилиндрической формы специального оснащения «загрузочная бадья», мм; r_2 – радиус шарообразной формы основания специального оснащения «загрузочная бадья», мм; h_2 – высота шарового сегмента специального оснащения «загрузочная бадья», мм.

3.3. Определить объём рабочего пространства металлургического агрегата «дуговая сталеплавильная печь»:

$$V_e = \left(\pi r_3^2 \cdot h_3 \right) + \left(\pi r_4^2 \left(R - \frac{1}{3} h_4 \right) \right), \quad (5)$$

где V_e – объём рабочего пространства металлургического агрегата «дуговая сталеплавильная печь»; r_3 – радиус цилиндрической формы металлургического агрегата «дуговая сталеплавильная печь», мм; h_3 – высота цилиндрической формы металлургического агрегата «дуговая сталеплавильная печь», мм; r_4 – радиус шарообразной формы основания металлургического агрегата «дуговая сталеплавильная печь», мм; h_4 – высота шарового сегмента металлургического агрегата «дуговая сталеплавильная печь», мм.

4. Определить принадлежность каждой точки прямоугольной сетки разбиения рабочего пространства металлургического агрегата, после размещения в ней объектов библиотеки фрагментов металлического лома:

$$f(x, y, z) = \begin{cases} 0, & \text{пустая точка;} \\ 1, & \text{заполненная точка,} \end{cases} \quad (6)$$

где x, y, z – координаты каждой точки по сетке разбиения; 0, 1 – значения принадлежности каждой точки прямоугольной сетки разбиения рабочего пространства металлургического агрегата или специального оснащения.

Значения принадлежности каждой точки прямоугольной сетки разбиения рабочего пространства металлургического агрегата {0,1} определяют цветовую гамму точки, где 0 – белый цвет для пустых ячеек, 1 – серый цвет для заполненных ячеек. Это позволит определить однородно заполненные области в рабочем пространстве металлургического агрегата.

5. Найти значения функции объёмной насыпной плотности материалов в рабочих пространствах металлургических агрегатов:

$$\rho(x, y, z) = \begin{cases} \rho_n, & \text{если } f(x, y, z) = 0; \\ \rho_z, & \text{если } f(x, y, z) = 1, \end{cases} \quad (7)$$

где ρ – функция объёмной насыпной плотности материалов в рабочих пространствах; ρ_n – значение функции объёмной насыпной плотности, при наличии пустой точки прямоугольной сетки разбиения рабочего пространства; ρ_z – условие функции объёмной насыпной плотности, при наличии заполненной точки прямоугольной сетки разбиения рабочего пространства.

6. Рассчитать общее количество заполненных точек прямоугольной сетки разбиения рабочего пространства:

$$V_3 = \sum_{x=1}^{n_x} \sum_{y=1}^{n_y} \sum_{z=1}^{n_z} f(x, y, z), \quad (8)$$

где V_3 – интегральная оценка наполненности объема рабочего пространства, мм³; n_x, n_y, n_z – максимальные значения точек прямоугольной сетки разбиения рабочего пространства по осям x, y, z , мм.

7. Оценить насыпную плотность объектов библиотеки фрагментов металлического лома, размещенных в рабочем пространстве металлического агрегата, на предмет соответствия допустимых значений насыпной плотности:

$$\alpha V_M \leq V_c \leq \beta V_M, \quad (9)$$

где V_c – количество пустых точек прямоугольной сетки разбиения рабочего пространства металлургического агрегата; α, β – настроечные коэффициенты насыпной плотности фрагментов металлического лома, соответствующие минимальным и максимальным границам, указанным в технологических инструкциях металлургических агрегатов.

8. Получить величину насыпной плотности фрагментов металлического лома, размещенных в рабочем пространстве:

$$A = 1 - \frac{V_M - V_3}{V_M}, \quad (10)$$

где A – интегральная характеристика функции объемной насыпной плотности.

Использование методики построения функции объемной насыпной плотности материалов в рабочих пространствах металлургических агрегатов позволяет выполнить подготовку исходных данных по насыпной

плотности фрагментов металлического лома, размещенных в рабочих пространствах металлургических агрегатов и специального оснащения для определения величины насыпной плотности фрагментов металлического лома, размещенных в рабочем пространстве металлического агрегата.

Исходные данные предназначены для дальнейшего использования в человеко-машинной системе при определении насыпной плотности шихтовых материалов дуговой сталеплавильной печи и отображения в SCADA АСУТП плавки для ДСП-180.

СЕМАФОРНАЯ СИСТЕМА МОДУЛЯ ДВИЖЕНИЯ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОТОБРАЖЕНИЯ НА SCADA АСУТП ПЛАВКИ ДСП-180

Существующая SCADA система АСУТП плавки в условиях ЭСПЦ ПАО «ММК» построена на семафорном принципе индикации текущего состояния технологических агрегатов. Информация по состоянию агрегатов формируется по событийной логике, представляющей собой последовательную цепочку событий, приводящую к выявлению нарушений технологических режимов. Анализ АСУТП Плавки ДСП-180 показал отсутствие измерений насыпной плотности и семафорной индикации значений насыпной плотности (рис. 3).

Проектируемое алгоритмическое обеспечение семафорной системы модуля движения шихтовых материалов предназначено для отображения величины насыпной плотности фрагментов металлического лома, размещенных в рабочем пространстве металлического агрегата и сопровождающего специального оснащения. Система позволит оператору принимать решения о загружаемых шихтовых материалах. Структура алгоритмического обеспечения семафорной системы модуля движения шихтовых материалов представлено на рис. 4. В таблице приведено описание блоков, представленных на рис. 4.

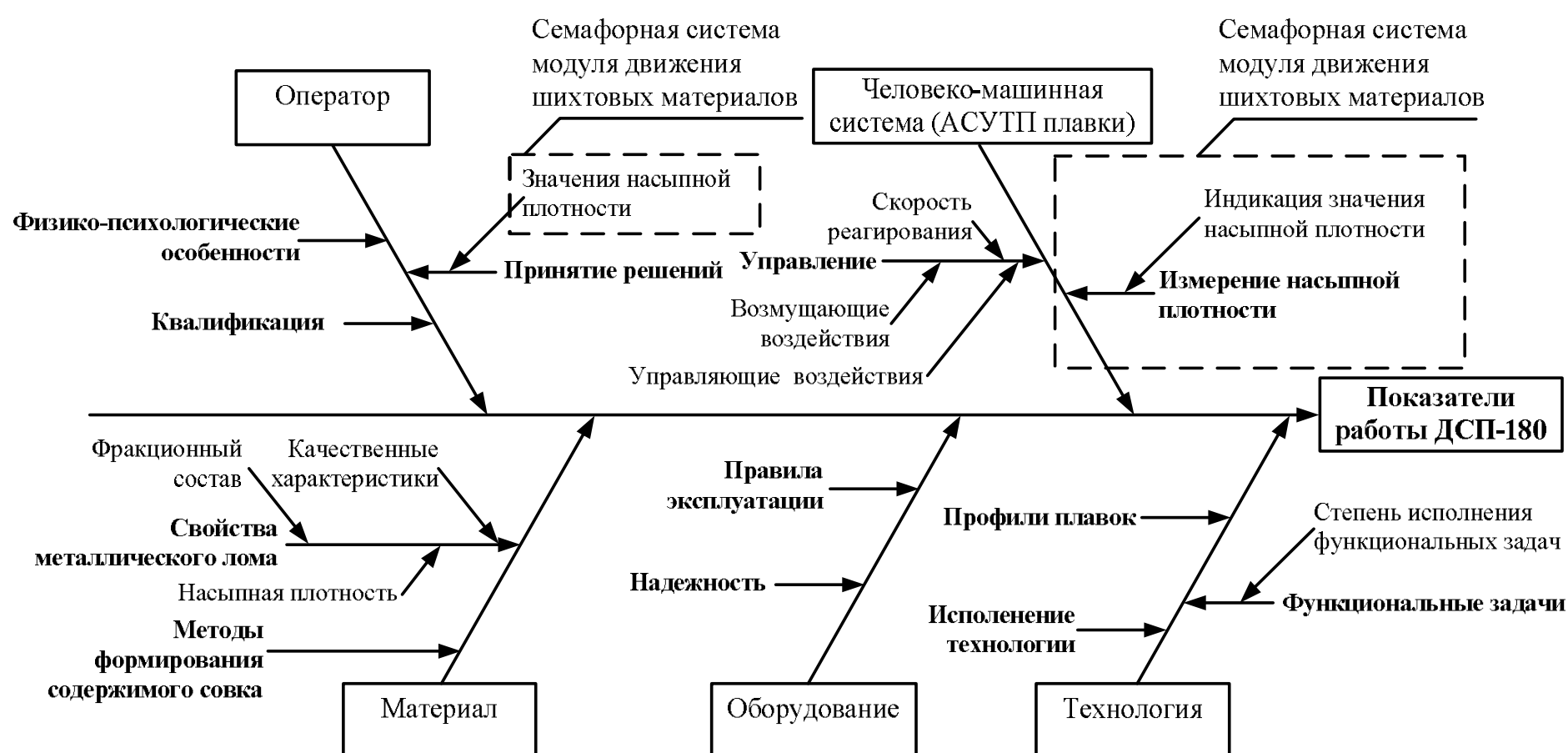


Рис. 3. Диаграмма влияния на показатели работы ДСП-180



Рис. 4. Функциональная схема алгоритмического обеспечения семафорной системы модуля движения шихтовых материалов для отображения величины насыпной плотности фрагментов металлического лома на SCADA ACSUTP плавки ДСП-180

Описание последовательных шагов алгоритмического обеспечения семафорной системы

Номер шага	Наименование шага	Описание шага
1	Получить исходные данные	Блок получения значения величины насыпной плотности, рассчитанные по формулам 9 и 10
2	Определить цветовую гамму величины насыпной плотности	Блок определения цветовой гаммы по величине насыпной плотности. Цветовая гамма величины насыпной плотности определяется по формуле (11).
3	Визуализировать величину насыпной плотности	Блок визуализации значения насыпной плотности с семафорной индикацией

Процедура определения цветовой гаммы величины насыпной плотности (11) основана на методике определения выхода значений за нормальные границы:

$$C = \begin{cases} 0, & \alpha \leq A \leq \beta, \text{ то зеленый и } Hi \text{ или } Lo; \\ 1, & A < \alpha, \text{ то красный и } LoLo; \\ 2, & > \beta, \text{ красный и } HiHi, \end{cases} \quad (11)$$

где C – переменная, характеризующая цветовую гамму величины насыпной плотности; $HiHi$ – максимально допустимое значение величины насыпной плотности; $LoLo$ – минимально допустимое значение величины насыпной плотности; Hi – максимально допустимый рабочий предел величины насыпной плотности; Lo – минимально допустимый рабочий предел величины насыпной плотности.

Схема цветового решения визуализации величины насыпной плотности представлена на рис. 5.

На рис. 5 введены сокращения и обозначения: $HiHi$ – максимально допустимые величины насыпной плотности; $LoLo$ – минимально допустимые величины насыпной плотности; Hi – максимально допустимый рабочий предел величины насыпной плотности; Lo – минимально допустимый рабочий предел величины насыпной плотности; n – предельные значения величины насыпной плотности; α , β – настроечные коэффициенты насыпной плотности фрагментов металлического лома, соответствующие минимальным и максимальным границам, указанным в технологических инструкциях металлургических агрегатов.

Согласно исследованиям, в ACSUTP Плавки ДСП-180 используется методика определения выхода значений за нормальные границы, поэтому принято решение использовать этот подход для семафорной системы модуля системы модуля движения шихтовых материалов. Эскиз главного окна модуля движения шихтовых материалов с обозначенной системой представлен на рис. 6.

На рис. 6 введены сокращения и обозначения: ЗБ – загрузочная бадья; ДСП – дуговая сталеплавильная печь; ρ – насыпная плотность; α , β – настроечные коэффициенты насыпной плотности фрагментов металлического лома, соответствующие минимальным и максимальным границам, указанным в технологических инструкциях металлургических агрегатов.

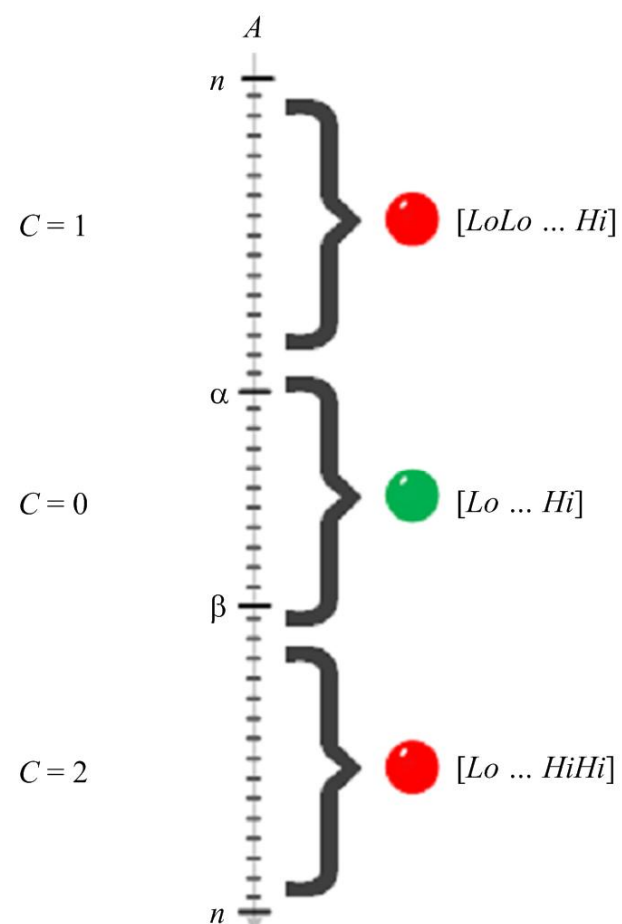


Рис. 5. Схема цветового решения визуализации величины насыпной плотности

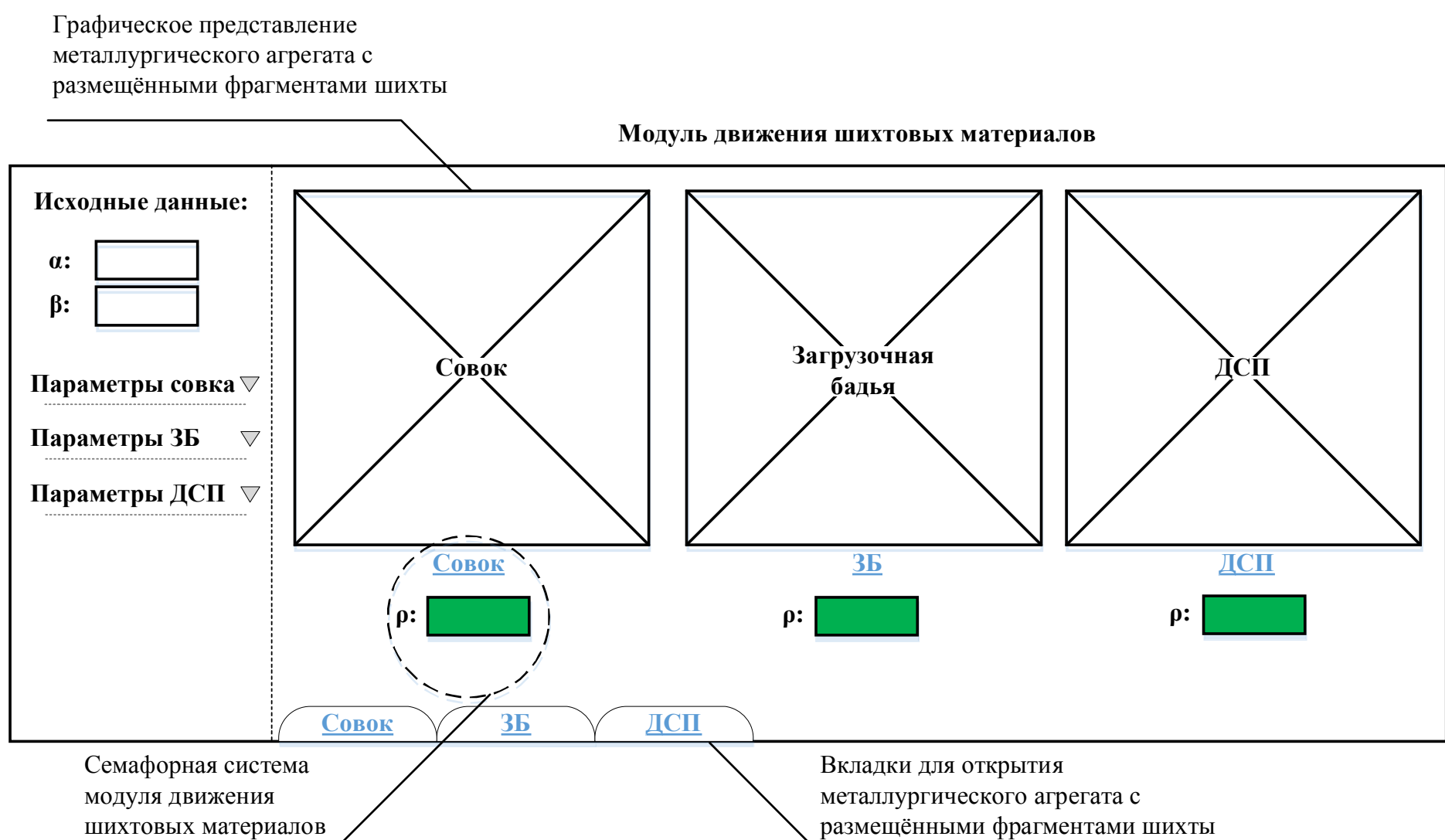


Рис. 6. Эскиз главного окна модуля движения шихтовых материалов

Выводы

1. Анализ существующих исследований в области интеллектуализации принятия решений при оценке насыпной плотности материалов показал наличие упрощенных методик, которые не учитывают флуктуации плотности наполнения рабочего пространства агрегатов и специального оснащения.

2. На основе анализа процесса движения шихтовых материалов между рабочими пространствами металлургических агрегатов и специального оснащения создана методика построения функции объёмной насыпной плотности материалов в рабочих пространствах металлургических агрегатов и определения интегральной оценки для использования в семафорной системе визуализации в рамках АСУ ТП дуговой сталеплавильной печи.

3. Результаты исследования предназначены при построении модулей человеко-машинных систем для интеллектуальной поддержки выбора электрического режима выплавки стали на стадиях подготовки и загрузки шихтовых материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Логунова О.С. Технология исследования информационных потоков на металлургическом предприятии // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2008. № 3. С. 32-36.
2. Николаев А.А. Разработка усовершенствованной методики выбора мощности статического тиристорного компенсатора дуговой сталеплавильной печи // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2017. Т. 15. № 3. С. 74-94.
3. Варианты построения системы автоматического регулирования распределения долей энергетических ресурсов в дуговых печах / Корнилов Г.П., Николаев А.А., Шулепов П.А., Петухова О.И. // Электротехнические системы и комплексы. 2017. № 4 (37). С. 32-37.

4. Электрометаллургия стали и ферросплавов / Поволоцкий Д.Я., Рощин В.Е., Рысс М.А. и др. М.: Металлургия, 1974. 551 с.
5. Кудрин В. А. Теория и технология производства стали: учебник для вузов. М.: Мир; ООО «Издательство АСТ», 2003. 528 с.
6. Macchietto S. (2003) Dynamic Model Development: Methods. Theory and Applications, Elsevier Science, pp. 115-118.
7. Пат. 2552805 Российская Федерация, МПК C21C5/52. Способ выплавки стали в дуговой сталеплавильной печи и устройство для его осуществления / Сосонкин О.М., Герцык С.И., Шишимиров М.В.; заявитель ФГБОУ ВПО «МГВМИ»; заявл. 23.05.2011; опубл. 10.04.2013.
8. Пат. 2478720 Российская Федерация, МПК C21C5/52. Способ выплавки стали в дуговой сталеплавильной печи и устройство для его осуществления / Сосонкин О.М., Герцык С.И., Шишимиров М.В.; заявитель ФГБОУ ВПО «МГВМИ»; заявл. 23.05.2011; опубл. 10.04.2013.
9. Пат. 2552807 Российская Федерация, МПК C22B1/248. Способ подогрева металлического скрапа / Савин А.В., Никольский В.Е.; заявитель ФГБОУ ВПО «МГВМИ»; заявл. 18.04.2011; опубл. 05.05.2013.
10. Сазонов К.Е. Модельный эксперимент в океанологии. СПб: РГГМУ, 2011. 93 с.
11. Miller James George, Harding Robert, Michos Demetrius, Pryor James Neil. Zeolite particles for adsorption and/or desorption of gases and liquids. Patent US, no. 54288368, 2017.
12. Hashida Takashi, Yamada Muneto. Scale inhibitor, scale-inhibiting device using the same, and scale-inhibiting system. Patent US, no. 55063877, 2017.
13. Маслов Д.В. Разработка алгоритмов и систем управления дуговыми сталеплавильными печами, снижающих поломки электродов: дис. ... канд. техн. наук: 05.09.10 / Маслов Дмитрий Владимирович. Москва, 2014.
14. Мордасов Д.М., Мордасов М.М. Технические измерения плотности сыпучих материалов: учеб. пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. 80 с.
15. Bulk and Tapped Density [Электронный ресурс]. Analyses

for the Pharmaceutical Industry. Режим доступа: <http://www.particle.dk/methods-analytical-laboratory/> (дата обращения: 01.10.2018).

16. Ишметьев Е.Н. Расчет насыпной плотности стального металлолома в совках для скрапа с использованием трехмерной камеры / Е.Н. Ишметьев, Д.В. Чистяков, А.Н. Панов, Е.Э. Бодров, Д.В. Рабаджи // Черные металлы. 2017. № 4. С. 22-28.
17. Dalmaz G., Dowson D., Priest M., Lubrecht A. (2001) Tribology Research: From Model Experiment to Industrial Problem. Elsevier Science, pp. 556-600.
18. Philippe Hendrickx, Mathieu Brochu. (2017) Process-structure-property relationships of the comminution processing

of Al scrap. Powder Technology, vol. 320, pp. 202-212.

19. Влияние фракционного состава металлолома на показатели работы дуговой сталеплавильной печи / Павлов В.В., Ивин Ю.А., Пехтерев С.В., Мацко И.И., Логунова О.С. // Электromеталлургия. 2011. № 11. С. 2-6.
20. Влияние фракционности металлического лома на вероятность возникновения очагов «кострения» в ДСП / Ошурков В.А., Логунова О.С., Павлов В.В., Чистяков Д.В., Панов А.Н., Щebleва Ю.В. // Сталь. 2017. №9. С. 14-20.
21. ТИ 101-СТ-ЭСПЦ-64 Технологическая инструкция «Выплавка стали в электропечах». Магнитогорск, 2012. 44 с.

Поступила в редакцию 27 декабря 2018 г.

INFORMATION IN ENGLISH

METHOD OF METAL SCRAP FRAGMENTS FUNCTION CONSTRUCTION OF THE POURED BULK DENSITY IN AN ELECTRIC ARC FURNACE

Vyacheslav A. Oshurkov

Postgraduate Student, Computer Engineering and Software Engineering Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: oshurkov92@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9529-646X>

Lyudmila G. Egorova

Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Computer Engineering and Software Engineering Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: egorov-lyudmil@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8763-9653>.

Anatoly V. Lednov

Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Computer Engineering and Software Engineering Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: vt-pm@magtu.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7614-0534>.

Ilya D. Antipanov

Student, Computer Engineering and Software Engineering Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: ilyaantipanov@mail.ru.

The task of this work is to form the function of the poured bulk density of metal scrap fragments in melting facilities workspace. The object of research is the electric arc furnace (EAF). The subject of research is simulation process modeling of material charging into the electric arc furnace. The research was carried out in laboratory of Nosov Magnitogorsk State Technical University and Magnitogorsk Iron and Steel Works. The methods of systems analysis, cause-and-effect analytic and empirical investigation were applied. In this paper, the description of the group the techniques of metal scrap fragments function construction of the poured bulk density in melting facilities workspace were applied; the description of the technique of the simulation process modeling of material charging technique; the description of metal scrap fragments function construction of the poured bulk density in the electric arc furnace; the description of the algorithm of mechanically worked semaphore signaling to visualize the poured bulk density of metal scrap fragments in melting facilities workspace on the SCADA system at MMK arc-furnace shop. The results of function construction of metal scrap fragments poured bulk density in melting facilities workspace (the bulk density value and properties of metal scrap fragments of melting facilities workspaces) are supposed to be used to create the metal scrap flow simulation modeling system. The metal scrap flow simulation modeling system will help decision making of the scrap fragments dimensions in electric arc furnace.

Keywords: poured bulk density, metal scrap, electric arc furnace, modeling technique, melting facilities, the poured bulk density of metal scrap.

REFERENCES

1. Logunova O.S. Technology of data flow research at a metallurgical plant. *Informacionnye tehnologii v proektirovanii i proizvodstve* [Information technology in design and manufacture]. 2008, no.3, pp. 32-36. (In Russian)
2. Nikolaev A.A. Development of the improved method for the choice of the static var compensator of an electric arc furnace. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Bulletin of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2017, vol.15, no.3, pp. 74-94. (In Russian)
3. Kornilov G.P., Nikolaev A.A., Shulepov P.A., Petuhova O.I. Different variants of design of the system of automatic control of power resource distribution in arc furnaces. *Jelektrotehnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical systems and complexes]. 2017, no.4(37), pp. 32-37. (In Russian)
4. Povolockij D.Ja., Roshhin V.E., Ryss M.A. and others *Jelektrometallurgija stali i ferrosplavov* [Electrometallurgy of steel and ferroalloys]. Moscow: Metallurgy, 1974. 551 p. (In Russian)
5. Kudrin V. A. *Teoriya i tehnologija proizvodstva stali* [Theory and technology of steel production]: Textbook for Universities. Moscow: «Mir», «ACT Publishing», 2003. 528 p. (In Russian)
6. Macchietto S. (2003) Dynamic Model Development: Methods. Theory and Applications, Elsevier Science, pp. 115-118.
7. Sosonkin O.M., Gercyk S.I., Shishimirov M.V. *Sposob vyplavki stali v dugovoj staleplavilnoj pechi i ustrojstvo dlja ego osushhestvlenija* [Method of steel production in an electric arc steel-making furnace]. Patent RF, no. 2552805, 2013.

8. Sosonkin O.M., Gercyk S.I., Shishimirov M.V. *Sposob vyplavki stali v dugovoj staleplavilnoj pechi i ustrojstvo dlja ego osushhestvlenija* [Method of steel production in an electric arc steel-making furnace]. Patent RF, no. 2478720, 2013.
9. Savin A.V., Nikolskij V.E. *Sposob podogreva metallicheskogo skrapa* [Method of metal scrap heating]. Patent RF, no. 2552807, 2013.
10. Sazonov K.E. *Modelnyj jeksperiment v okeanologii* [Simulation experiment in ocean science]. St. Petersburg: RGGMU, 2011. 93 p. (In Russian)
11. Miller James George, Harding Robert, Michos Demetrius, Pryor James Neil. Zeolite particles for adsorption and/or desorption of gases and liquids. Patent US, no. 54288368, 2017.
12. Hashida Takashi, Yamada Muneto. Scale inhibitor, scale-inhibiting device using the same, and scale-inhibiting system. Patent US, no. 55063877, 2017.
13. Maslov D.V. *Razrabotka algoritmov i sistem upravlenija dugovymi staleplavilnymi pechami, snizhajushhih polomki jelektrodov: Kand. Diss.* [Development of algorithms and control systems for electric arc steel-making furnaces to decrease the number of electrode breakdowns. Ph.D. Diss.] Moscow, 2014.
14. Mordasov D.M., Mordasov M.M. *Tekhnicheskie izmerenija plotnosti sypuchih materialov* [Technical measurement of bulk material density]: textbook. Tambov: Publishing center of Tambov State Technical University, 2004. 80 p. (In Russian)
15. Bulk and Tapped Density. Analyses for the Pharmaceutical Industry. Access mode: <http://www.particle.dk/methods-analytical-laboratory/> (access date: 01.10.2018).
16. Ishmetiev E.N. Calculation of bulk density of steel scrap in scrap baskets using a 3D camera / E.N. Ishmetiev, D.V. Chistjakov, A.N. Panov, E.Je. Bodrov, D.V. Rabadzhi. *Chernye metally* [Ferrous metals]. 2017, no. 4, pp. 22-28. (In Russian)
17. Dalmaz G., Dowson D., Priest M., Lubrecht A. (2001) *Tribology Research: From Model Experiment to Industrial Problem*. Elsevier Science, pp. 556-600.
18. Philippe Hendrickx, Mathieu Brochu. (2017) Process-structure-property relationships of the comminution processing of Al scrap. *Powder Technology*, vol. 320, pp. 202-212.
19. Pavlov V.V., Ivin Ju.A., Pehterev S.V., Macko I.I., Logunova O.S. Influence of fraction composition of metal scrap on operating parameters of the electric arc steel-making furnace. *Jelektrometallurgija* [Electrometallurgy]. 2011, no. 11, pp. 2-6. (In Russian)
20. Oshurkov V.A., Logunova O.S., Pavlov V.V., Chistjakov D.V., Panov A.N., Shhebleva Ju.V. Influence of fraction composition of scrap on development of flames in EAF. *Stal* [Steel]. 2017, no. 9, pp. 14-20.
21. TI 101-ST-JeSPC-64 Process instruction «Steel making in electric furnaces». Magnitogorsk, 2012. 44 p.

Ошурков В.А., Егорова Л.Г., Леднов А.В., Антипанов И.Д. Человеко-машинная система насыпной плотности шихтовых материалов дуговой сталеплавильной печи: функция объёмной насыпной плотности и семфорная система // *Электротехнические системы и комплексы*. 2019. № 1(42). С. 59-66. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-1\(42\)-59-66](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-1(42)-59-66)

Oshurkov V.A., Egorova L.G., Lednov A.V., Antipanov I.D. Method of Metal Scrap Fragments Function Construction of the Poured Bulk Density in an Electric Arc Furnace. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2019, no. 1(42), pp. 59-66. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-1\(42\)-59-66](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-1(42)-59-66)