

Логунова Оксана Сергеевна

Доктор технических наук, профессор,
Магнитогорский государственный
технический университет им. Г. И. Носова
(Магнитогорск, Россия)
E-mail: logunova66@mail.ru

Logunova Oksana Sergeevna

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Nosov Magnitogorsk State
Technical University
(Magnitogorsk, Russia)
E-mail: logunova66@mail.ru

Ошурков Вячеслав Александрович

Аспирант,
Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова
(Магнитогорск, Россия)
E-mail: oshurkov92@mail.ru

Oshurkov Viacheslav Aleksandrivich

Post-graduate student,
Nosov Magnitogorsk State
Technical University
(Magnitogorsk, Russia)
E-mail: oshurkov92@mail.ru

**ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ
РЕШЕНИЯ ДЛЯ НОВОЙ
ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ АСУ ТП
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОБЪЕМНОЙ
НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ
МАТЕРИАЛОВ В РАБОЧЕМ
ПРОСТРАНСТВЕ ДУГОВОЙ
СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ**

**TECHNICAL AND
ORGANIZATIONAL SOLUTIONS
FOR APCS NEW FUNCTIONAL TASK TO
DETERMINE THE POURED
BULDENSITY OF METAL SCRAP
FRAGMENTS IN THE WORKING SPACE
OF THE ELECTRIC ARC FURNACE**

Аннотация. Целью исследования является разработка организационно-технических решений для новой функциональной задачи АСУ ТП (автоматизированная система управления технологическим процессом) для принятия решений и прогнозирования вероятности появления и места расположения эффекта «кострения». В организационно-технические решения включают программно-аппаратный модуль, предназначенный для сплошного мониторинга процесса загрузки металлического лома в дуговую сталеплавильную печь, позволяющий выполнять функции сбора и анализа информации о расположении объектов в ограниченном пространстве, выбора рекомендаций по изменению режимов плавки согласно готовым или новым решениям. В работе представлено описание основных блоков программно-аппаратного модуля.

Abstract. The goal of the study is to develop technical and organizational solutions for APCS (Automatic Process Control System) new functional task to make decision and predict the risks of clogging and the location of this zone. The technical and organizational solutions have software and hardware modules for continuous monitoring of the process of loading scrap metal into an electric steel-smelting furnace and making it possible to perform functions of collecting and analyzing information about the location of objects in a limited space choosing recommendations for changing smelting modes according to ready-made or new solutions. The main units of software and hardware modules were described.

Ключевые слова: дуговая сталеплавильная печь, технология подготовки шихтовых материалов, экспериментальные исследования, насыпная плотность, система мониторинга загрузки

Keywords: electric arc furnace, technology of preparation of charge materials, experimental studies, the poured bulk density, load monitoring system

Введение

Современные автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) в настоящее время имеют высокую степень интеллектуализации и охватывают все этапы производства. Появление новых технических и программных средств приводит к реализации возможностей по охвату всех этапов подготовительного производства и возможности введения новых функций АСУ ТП. Для сталеплавильного производства до настоящего времени остаются нерассмотренными задачи подготовки и формирования структуры шихтовых материалов. Считается, что внутри рабочего пространства дуговой сталеплавильной печи материалы распределены равномерно и достаточно ограничиться простыми методами расчета насыпной плотности [3]–[4], [8], [9]. Однако экспериментальные исследования показали, что наличие крупногабаритных фрагментов металлического лома в составе шихты приводит к образованию эффекта «кострения» и, как следствие, наличию неоднородных областей заполнения рабочего пространства ДСП [2], [5]–[7].

Вычислительный эксперимент с использованием имитационного моделирования является одним из способов исследования для труднодоступных условий. При перемещении фрагментов металлического лома в рабочее пространство бады и рабочее пространство ДСП вычислительный эксперимент позволяет выполнить прогнозирование вероятности образования эффектов «кострения». Достаточными условиями для прогнозирования вероятности появления и места расположения эффекта «кострения» при загрузке металлического лома в рабочее пространство ДСП являются:

- постоянство в соотношении геометрических размеров рабочих пространств агрегатов (ДСП) и оснащения (совок, бадя);
- структурный состав металлического лома по количеству каждого вида фрагментов по группам *A*, *B* и *C* (*A* – металлический лом мелких размеров (до 0,5 м); *B* – металлический лом средних размеров (от 0,5 до 1,5 м); *C* – негабаритный лом (от 1,5 м));
- начальное расположение фрагментов металлического лома в рабочем пространстве загрузочного совка.

Условия являются достаточными, потому что процесс формирования траектории движения фрагментов между рабочими пространствами оснащения и агрегата подчиняется фундаментальным законам динамики.

Для определения достаточных условий необходимо:

- 1) сохранять типовой размер рабочего пространства оснащения и основного рабочего пространства ДСП;
- 2) синтезировать программно-аппаратный модуль в системе АСУ ТП выплавки стали в дуговой электросталеплавильной печи, позволяющей выполнять функции сбора и анализа информации о расположении объектов в ограниченном пространстве, выбора рекомендаций по изменению режимов плавки согласно готовым или новым решениям.

Концептуальная схема программно-аппаратного модуля в системе АСУ ТП выплавки стали в дуговой электросталеплавильной печи приведена на рис. 1.

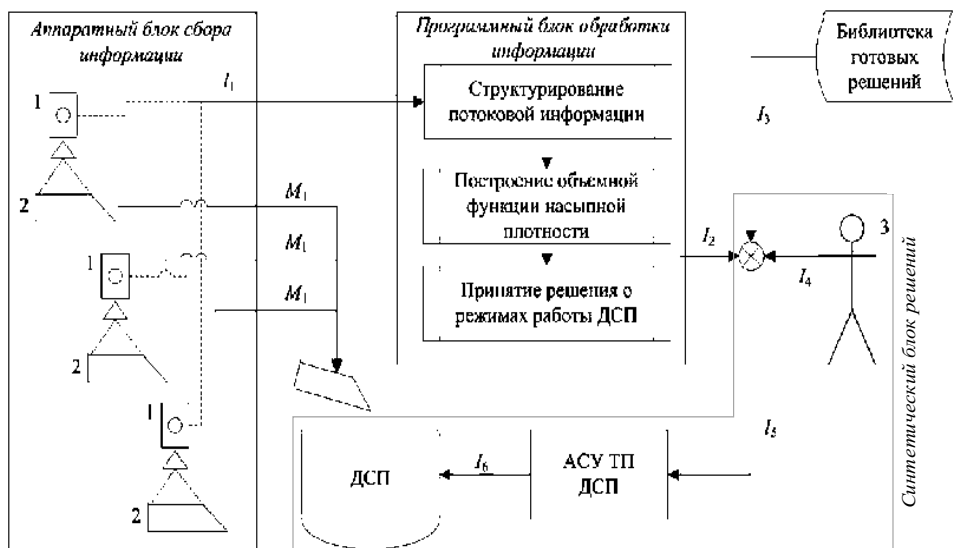


Рис. 1. Концептуальная схема программно-аппаратного модуля в системе АСУ ТП выплавки стали в дуговой электросталеплавильной печи

Обозначения: 1 – стационарная камера для поточной съемки загружаемого сырья в совки; 2 – совок; 3 – лицо, принимающее решение; M_1 – материальный поток; I_1 – пакет изображений, получаемый в потоке при загрузке совка; поток; I_2 – сигнал semaфорной системы о наличии очагов «кострения» и неоднородностях насыпной плотности; I_3 – множество решений, полученных в результате имитационного моделирования; I_4 – решение, принятое экспертом; I_5 – синтетическое решение, полученное с использованием трех сигналов; I_6 – итоговое управляющее воздействие.

Каждый блок схемы требует уточнения для последующей реализации.

Основная часть

1. Структура программно-аппаратного модуля.

1.1. Аппаратный блок сбора информации.

Аппаратный блок сбора информации о наполнении совков металлическим ломом базируется на стационарных камерах для поточной съемки загружаемого сырья в совки. Захват изображения производится IP-Камерой RVI, технические характеристики которой представлены в таблице.

Защита IP-Камеры RVI от механических воздействий осуществляется посредством специализированных пластмассовых (для защиты объектива камеры) и алюминиевых (для защиты корпуса камеры) материалов.

Расположение IP-Камеры RVI осуществляется над совком (рис. 2) на расстоянии 10–12 м в целях захвата большей части рабочего пространства металлургического агрегата и обеспечения адекватной светопередачи изображения.

Технические характеристики IP-Камеры RVI

Характеристика	Значение
Тип	Купольный
Угол обзора	70° × 23° (горизонталь × вертикаль)
Разрешение изображения	64 × 16 пикселей
Апертурный угол	70 × 23
Рабочий интерфейс	Ethernet UDP/IP
Физический размер матрицы	1/3"
Фокусное расстояние	2,8-12 мм
Ударопрочность	30 г / 6 мс
Вибропрочность	10 г / 2000 Гц

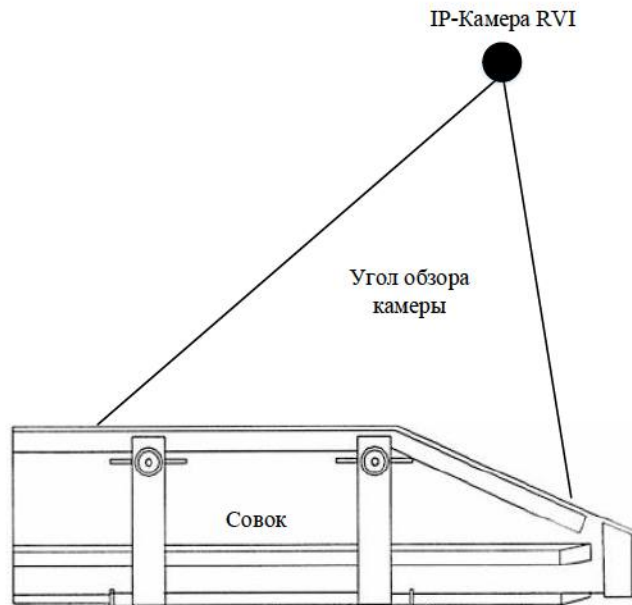


Рис. 2. Схематичное расположение IP-Камеры RVI над совком

В результате видеофиксации формируется пакет изображений, получаемый в потоке при загрузке совка, который обрабатывается и выступает в качестве исходных данных для программного блока обработки информации.

1.2. Программный блок обработки информации.

Программный блок обработки информации предназначен для обработки пакета изображений, получаемого в потоке при загрузке совка из IP-Камер RVI и формирования параметров насыпной плотности шихтовых материалов.

Программный блок обработки информации состоит из 3 модулей:

- 1) структурирования потоковой информации;
- 2) построения объемной функции насыпной плотности;
- 3) принятия решения о режимах работы ДСП.

Модуль структурирования потоковой информации предназначен для обработки пакета изображений, получаемого в потоке при загрузке совка. Функциональная схема модуля структурирования потоковой информации приведена на рис. 3.

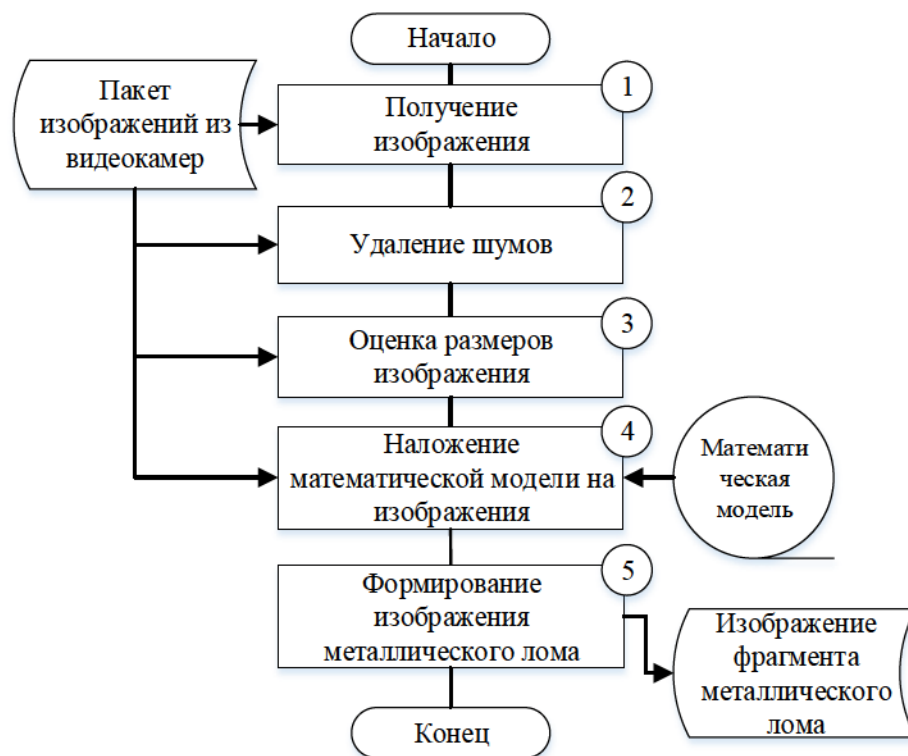


Рис. 3. Функциональная схема модуля структурирования потоковой информации

Первичными данными для работы модуля является пакет изображений, получаемый в потоке при загрузке совка (1). Массив изображений обрабатывается в целях удаления шумов (2), вносимых внешними факторами. Оценивается размер каждого изображения (3). Далее на изображение накладывается математическая модель, позволяющая определить границы фрагмента металлического лома (4). По данным математической обработки формируется графическое представление фрагмента металлического лома и его запись в БД (5). Все операции протоколируются и сохраняются в БД.

Модуль построения объемной функции насыпной плотности. Полученные изображения фрагментов металлического лома и параметры металлургических агрегатов являются исходными данными для работы модуля построения объемной функции насыпной плотности [8].

Для построения объемной функции насыпной плотности (рис. 4) осуществляется расчет вместимости натуральных объектов (1) на основе исходных данных о параметрах металлургических агрегатов. Определяется принадлежность точки прямоугольной сетки разбиения рабочего пространства металлургического агрегата (2) после размещения в ней фрагментов металлического лома. Далее осуществляется поиск

значения функции объемной насыпной плотности материалов в рабочих пространствах металлургических агрегатов (3).



Рис. 4. Функциональная схема модуля построения функции объемной насыпной плотности

Модуль принятия решения о режимах работы ДСП (дуговая сталеплавильная печь) предназначен для определения параметров насыпной плотности фрагментов металлического лома в рабочих агрегатах [8]: оценка насыпной плотности и ее значение. Функциональная схема модуля представлена на рис. 5.

Рассчитывается общее количество заполненных точек прямоугольной сетки разбиения рабочего пространства металлургического агрегата ДСП (1). Оценивается насыпная плотность фрагментов металлического лома, размещенных в рабочем пространстве металлического агрегата, на предмет соответствия допустимых значений насыпной плотности (2). Осуществляется расчет величины насыпной плотности фрагментов металлического лома, размещенных в рабочем пространстве металлического агрегата (2). На основании полученных данных формируется сигнал семафорной системы о наличии очагов «кострения» и неоднородностях насыпной плотности (3).

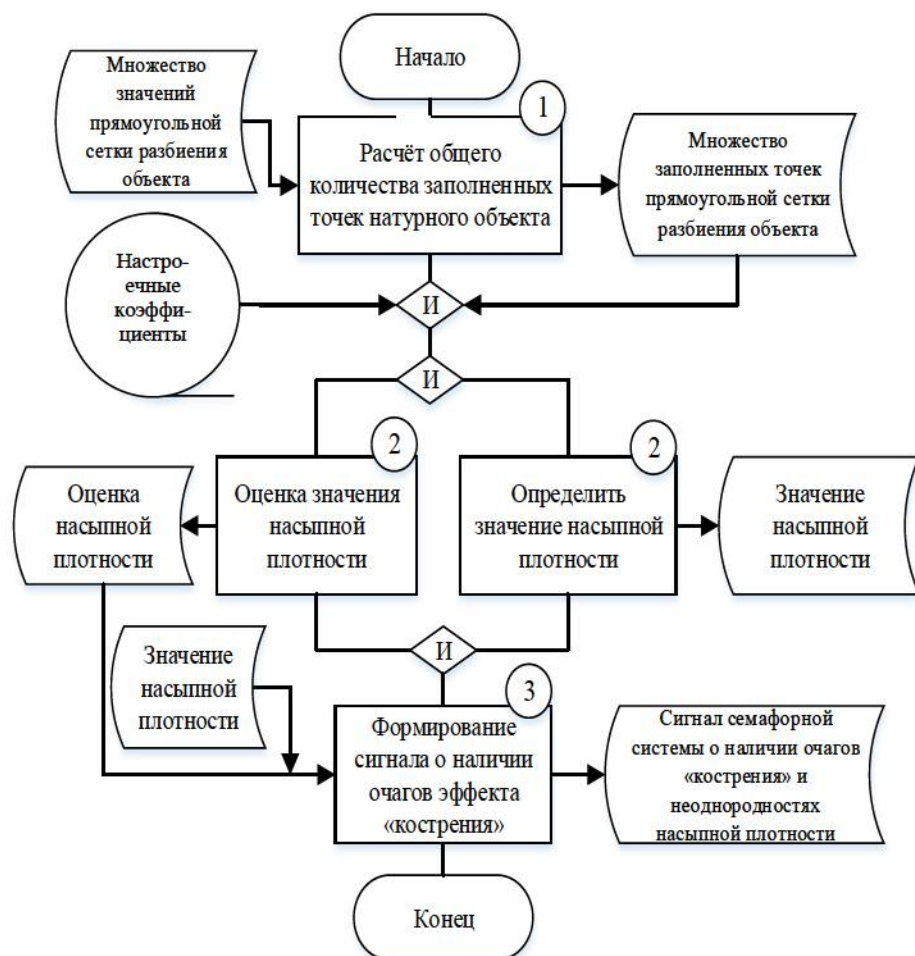


Рис. 5. Функциональная схема модуля определения однородно заполненной области в рабочем пространстве металлургического агрегата

1.3. Библиотека готовых решений.

Библиотека готовых решений формируется на основе результатов имитационного моделирования, результатов модельных экспериментов и при накоплении вариантов решения в производственных условиях, осуществляемых посредством автоматизированного человеко-машинного модуля движения шихтовых материалов между рабочими объектами, предназначенного для имитационного моделирования перемещения фрагментов металлического лома между металлургическими агрегатами и сохранения множества решений, полученных в результате имитационного моделирования в виде готовых решений в БД [5]. Функциональная схема модуля формирования библиотеки готовых решений представлена на рис. 6.

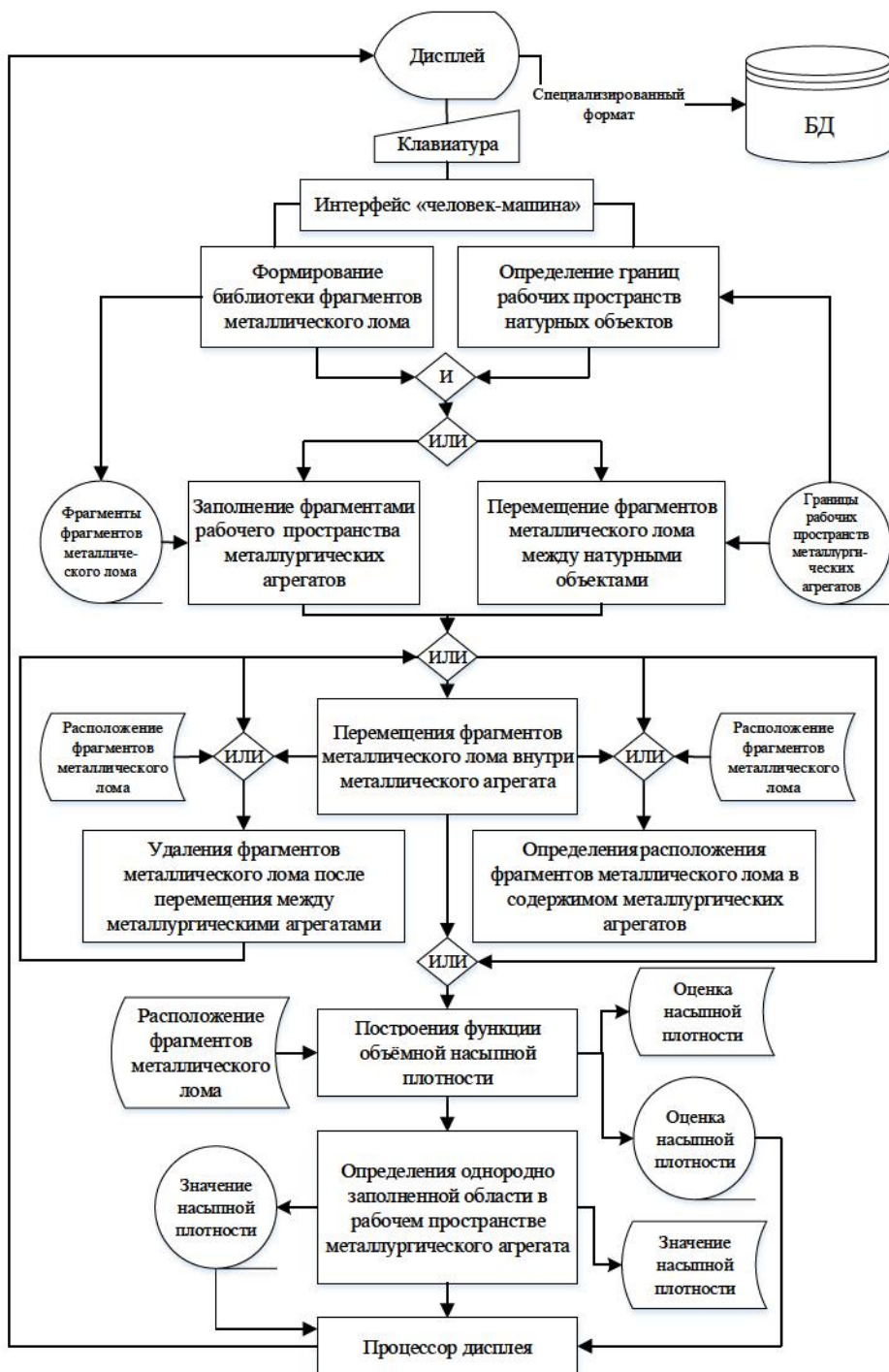


Рис. 6. Функциональная схема модуля формирования библиотеки готовых решений

1.4. Синтетический блок решений.

Алгоритм синтетического блока решений построен на методе рассуждений на основе прецедентов, позволяющем подобрать решение с использованием или адаптацией прецедентов, т. е. с учетом накопленного опыта решения подобных задач. Функциональная схема алгоритмического обеспечения синтетического блока решений приведена на рис. 7.

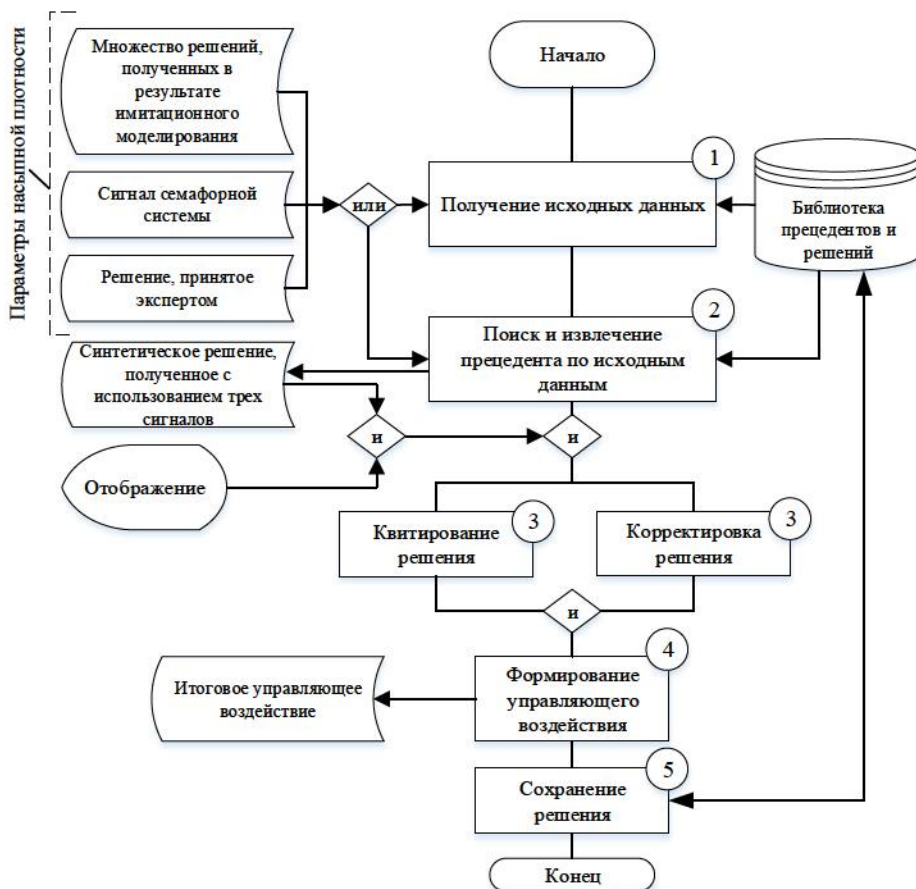


Рис. 7. Функциональная схема алгоритмического обеспечения синтетического блока решений

При получении исходных данных из трех источников (1) осуществляется поиск прецедента и его извлечение из библиотеки (2) по наиболее близкому к параметрам исходных данных. Извлечение прецедента по исходным данным производится в параметрическом представлении (1) [3]:

$$case = (x_1 \dots, x_n, R), \tag{1}$$

где x_1, \dots, x_n – параметры ситуации, описывающей данный прецедент; $x_1 \in X_1, \dots, x_n \in X_n$; n – количество параметров прецедента; X_1, \dots, X_n – области допустимых значений соответствующих параметров, R – диагноз и рекомендации.

На рис. 3–7 введены обозначения: условие «и» означает, что все следующие процессы должны быть запущены; условие «или» означает, что один или несколько процессов могут быть запущены.

Найденное решение подготавливается для отображения на операторской станции для выбора режима выплавки стали в АСУ ТП ДСП. Оператор принимает решение, наиболее близкое к производственной обстановке (3); квитирует решение, подготовленное системой, или корректирует его. На этом основании формируется итоговое управляющее воздействие в АСУ ТП ДСП (4) для поправки к режиму выплавки стали по результатам оценки состава шихтовых материалов. После чего решение сохраняется в системе в виде прецедента (5).

Выводы

Представлены и описаны основные составляющие программно-аппаратного модуля для сплошного мониторинга процесса загрузки металлического лома в дуговую сталеплавильную печь, позволяющего выполнять функции сбора и анализа информации о расположении объектов в ограниченном пространстве, выбора рекомендаций по изменению режимов плавки согласно готовым или новым решениям. В качестве составляющих используются:

- аппаратный блок сбора информации, предназначенный для поточной съемки загружаемого сырья в совок;
- программный блок обработки информации, направленный на обработку пакета изображений, получаемого в потоке при загрузке совка из IP-Камер RVI и формировании параметров насыпной плотности шихтовых материалов;
- библиотека готовых решений, формируемая на основе результатов имитационного моделирования, результатов модельных экспериментов и при накоплении вариантов решения в производственных условиях;
- синтетический блок решений, позволяющий определить оптимальный ответ по выбору рекомендаций для изменения режимов плавки на основе исходных данных о параметрах насыпной плотности.

Предлагаемый программно-аппаратный модуль и организационно-технические решения реализуют новую функциональную задачу АСУ ТП выплавки стали в дуговой сталеплавильной печи по прогнозированию вероятности и места появления эффекта «кострения» при наличии крупногабаритных фрагментов металлического лома в составе шихтовых материалов.

Литература

1. Варшавский П. Р., Еремеев А. П. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. № 2. С. 45–57.
2. Логунова О. С., Павлов В. В., Ивин Ю. А. и др. Моделирование риска обвалов шихты при загрузке крупногабаритного лома в электродуговую сталеплавильную печь // Сталь. 2012. № 9. С. 76–79.
3. Мордасов Д. М. Технические измерения плотности сыпучих материалов. Тамбов: Тамбовский государственный университет, 2004. 80 с.

4. Оборудование для определения насыпной плотности и сыпучести (текучести) порошков в фармацевтике. URL: <https://labfarma.ru/information/articles/214>. (дата обращения: 15.02.2019).
5. Ошурков В. А., Егорова Л. Г., Леднов А. В., Антипанов И. Д. Человеко-машинная система насыпной плотности шихтовых материалов дуговой сталеплавильной печи: функция объемной насыпной плотности и semaфорная система // *Электротехнические системы и комплексы*. 2019. № 1 (42). С. 59–66. URL: [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-1\(42\)-59-66](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-1(42)-59-66) (дата обращения: 09.03.2019).
6. Ошурков В. А., Логунова О. С., Павлов В. В. и др. Влияние фракционности металлического лома на вероятность возникновения очагов «кострения» в ДСП // *Сталь*. 2017. № 9. С. 14–20.
7. Панов А. Н., Бодров Е. Э., Бодрова С. И. и др. Использование эталонного измерения пустого совка при расчете объема металлолома в нем с помощью 3D-камер // *Электротехнические системы и комплексы*. 2018. № 2 (39). С. 57–62.
8. Смирнов А. Н., Сафонов В. М., Дорохова Л. В., Цупрун А. Ю. *Металлургические мини-заводы*. Донецк: Норд-Пресс, 2005. 469 с.
9. Bulk and Tapped Density. URL: <http://particle.dk/methods-analytical-laboratory/bulk-and-tapped-density> (дата обращения: 15.02.2019).

References

1. Varshavskii P. R., Eremeev A. P. Modelirovanie rassuzhdenii na osnove pretsedentov v intellektual'nykh sistemakh podderzhki prinyatiia reshenij [Modeling reasoning based on precedents in intelligent decision support systems]. *Iskusstvennyi intellekt i priniatie reshenii* [Artificial Intelligence and Decision Making], 2009, no. 2, pp. 45–57.
2. Logunova O. S., Pavlov V. V., Ivin Iu. A. et al. Modelirovanie riska obvalov shikhty pri zagruzke krupnogabaritnogo loma v elektrodugovuiu staleplavil'nuiu pech' [Simulation of the risk of charge falls when loading large-sized scrap into an electric arc steelmaking furnace]. *Stal'* [Steel], 2012, no. 9, pp. 76–79.
3. Mordasov D. M. *Tekhnicheskie izmereniia plotnosti sypuchikh materialov* [Technical density measurement of bulk materials]. Tambov: Tambovskii gosudarstvennyi universitet, 2004. 80 p.
4. *Oborudovanie dlia opredeleniia nasypnoi plotnosti i sypuchesti (tekuchesti) poroshkov v farmatsevtike* [Equipment for determining bulk density and flow rate (flowability) of powders in the pharmaceutical industry]. Available at: <https://labfarma.ru/information/articles/214>. (accessed: 15.03.2019).
10. Oshurkov V. A., Egorova L. G., Lednov A. V., Antipanov I. D. Cheloveko-mashinnaiia sistema nasypnoi plotnosti i semafornoi sistema [Man-machine system of bulk density of charge materials of electric arc steel-smelting furnace: function of bulk density and semaphore system]. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical systems and complexes], 2019, no. 1 (42), pp. 59–66. Available at: [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-1\(42\)-59-66](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-1(42)-59-66) (accessed: 09.03.2019).
5. Oshurkov V. A., Logunova O. S., Pavlov V. V. et al. Vliianie fraktsionnosti metallicheskogo loma na veroiatnost' vozniknoveniia ochagov "kostreniia" v DSP [The effect of factional scrap metal on the risks of emergence of clogging zones in the EAF]. *Stal'* [Steel], 2017, no. 9, pp. 14–20.
6. Panov A. N., Bodrov E. E., Bodrova S. I. et al. Ispol'zovanie etalonnogo izmereniia pustogo sovka pri raschete ob'ema metalloloma v nem s pomoshch'iu 3D-kamer [Using the reference measurement of an empty scoop when calculating the amount of scrap metal in it using 3D cameras]. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical systems and complexes], 2018, no. 2 (39), pp. 57–62.

-
7. Smirnov A. N., Safonov V. M., Dorokhova L. V., Tsuprun A. Iu. *Metallurgicheskie mini-zavody* [Metallurgical mini-plants]. Donetsk: Nord-Press, 2005. 469 p.
 8. *Bulk and Tapped Density*. Available at: <http://particle.dk/methods-analytical-laboratory/bulk-and-tapped-density> (sccessed: 15.03.2019).
-

Для цитирования: *Логунова О. С., Ошурков В. А.* Организационно-технические решения для новой функциональной задачи АСУ ТП по определению объемной насыпной плотности материалов в рабочем пространстве дуговой сталеплавильной печи // Вестник Череповецкого государственного университета. 2019. № 2 (89). С. 32–43. DOI: 10.23859/1994-0637-2019-2-89-3

For citation: Logunova O. S., Osurkov V. A. Technical and organizational solutions for APCS new functional task to determine the poured bulk density of metal scrap fragments in the working space of the electric arc furnace. *Bulletin of the Cherepovets State University*, 2019, no. 2 (89), pp. 32–43. DOI: 10.23859/1994-0637-2019-2-89-3