

**ОСИПОВА Н.В.** (Национальный исследовательский технологический университет «Московский институт стали и сплавов», Москва, Россия)

**ПИПИЯ Д.В.** (Национальный исследовательский технологический университет «Московский институт стали и сплавов», Москва, Россия)

## МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ПУЛЬПЫ ПЕРЕД ФЛОТАЦИЕЙ

В статье приведен краткий обзор исследований по вопросам автоматизации флотационного обогащения. Выявлены основные недостатки существующих систем и способов регулирования параметров данного процесса, которые заключаются в низком быстродействии, ошибках выработки управляющего воздействия и отсутствии стабилизации плотности пульпы в перемешивателе. В связи с этим приводится вывод об актуальности разработки САУ процессом перемешивания пульпы перед флотацией, которая позволит поддерживать на заданном уровне указанную переменную. В качестве метода исследования выбрано моделирование с применением пакета прикладных программ Matlab Simulink. При этом дается математическое описание таких элементов модели САУ, как клапан, перемешиватель, насос, ПИД-регулятор. В результате моделирования получены временные диаграммы, отражающие принцип стабилизации плотности пульпы манипуляцией расхода воды в перемешиватель при скачкообразном изменении плотности твердой фазы в пульпе и ее расхода. Приводятся выводы о возможности использования САУ в составе АСУ ТП на горнорудных предприятиях, так как работа модели системы показала удовлетворительные результаты по управлению плотностью с малым перерегулированием и временем регулирования.

*Ключевые слова:* флотация, перемешиватель, флотируемость, аэрация, концентрат, хвосты, обучающая выборка, клапан, регулятор, плотномер

В последние годы деятельность горно-обогатительных комбинатов направлена на переработку бедного по минералогическому составу рудного сырья, что существенно усложняет технологию производства. Поэтому для получения стабильно высоких показателей автоматизация технологических процессов обогащения полезных ископаемых играет важную роль. От содержания металла в обрабатываемом материале во многом зависят технико-экономические показатели работы горно-обогатительного комбината.

Процесс флотации железной руды является одним из универсальных методов, позволяющих получить высокое содержание железа в концентрате путем удаления большей части пустой породы [12–17, 20–23]. При флотации происходит разделение мелких твердых частиц в пульпе или растворе вследствие избирательной концентрации минералов на границах раздела фаз [1, 9].

Основными факторами, влияющими на флотационное обогащение, являются:

$\alpha_p$  – содержание металла в руде,  $\psi_p$  – флотируемость сырья,  $d_{cp}$  – гранулометрический состав измельченного продукта обогащения,  $\rho_p$  – плотность исходного питания,  $\mu_i$  – концентрация ионов реагентов в суспензии,  $h_1, h_2$  – уровень пульпы и пены,  $\gamma_p$  – производительность флотоколонн,  $k_a$  – степень аэрации пульпы и др. [4].

В качестве выходных показателей процесса флотации обычно выступают содержание металла в концентрате  $\alpha_k$  и хвостах  $\alpha_x$ , производительность установки  $Q_{уст.}$ , выход концентрата  $\gamma_k$  и хвостов  $\gamma_x$  [4].

При этом  $\psi_p, d_{cp}, \rho_p$  представляют из себя возмущающие факторы и во многом зависят от нестабильности физико-механических свойств пульпы. Ее плотность  $\rho_p$  – один из основных параметров контроля и регулирования процесса флотации, в то время как переменные  $\psi_p, d_{cp}$  являются достаточно трудно измеряемыми и управляемыми.

Проблеме автоматизации процесса флотационного обогащения посвящено

достаточно много исследований. Среди последних можно выделить работы [2, 6, 7], где описаны способы управления и контроля параметров флотации. Их суть заключается в формировании «обучающей выборки», которую используют для выявления взаимосвязи входных факторов, оказывающих влияние на данный процесс, и содержания полезного компонента в продуктах флотации. Управление также может быть основано на «правилах нечеткой логики» [18].

Недостатками указанных способов являются необходимость «переобучать» систему при изменении сортов руды, поступающей на фабрику, и слишком большое количество входных переменных, что увеличивает время работы алгоритма и ошибки выработки управляющего воздействия. Также указанные способы не предполагают стабилизацию параметра  $\rho_{п}$  в перемешивателе.

Поэтому создание системы автоматического регулирования, которая позволит поддерживать на заданном уровне плотность пульпы, поступающей на флотацию, является актуальной задачей.

Известно [4], что стабилизация данного параметра может осуществляться за счет изменения расхода воды в поток или емкость.

На рис. 1 показана схема модели САУ процессом перемешивания пульпы при подготовке к флотации Михайловского ГОКа. Структурная схема и пере-

чень технических средств для данной системы изложены в статье [5].

Модель представлена следующими звеньями:

- регулируемый клапан с электроприводом с передаточной функцией по каналу положение – расход воды  $B$  :

$$W_{\%_B}(p) = \frac{k_k}{T_k p + 1}, \quad (1)$$

где  $k_k$  – коэффициент передачи клапана,  $(\text{м}^3/\text{ч})/\%$ ;  $T_k$  – постоянная времени,  $T_k = 0,3$  мин;

- нелинейная часть модели клапана с блоком ограничения его открытия от 0 до 100 % [3, 11];

- передаточная функция перемешивателя  $W_{B+Q-\rho_{п}}(p)$  по каналу сумма расхода воды  $B$  и твердой фазы  $Q$  – плотность пульпы в перемешивателе  $\rho_{п}$  :

$$W_{B+Q-\rho_{п}}(p) = \frac{k_{п}}{T_{п} p + 1}, \quad (2)$$

$$k_{п} = \frac{\rho_{тв}}{B\rho_{тв} + Q}, \quad T_{п} = k_{п} V_{п}, \quad (3)$$

где  $k_{п}$  – коэффициент передачи перемешивателя,  $(\text{т}/\text{м}^3)/(\text{м}^3/\text{ч})$ ;  $T_{п}$  – постоянная времени, мин;  $\rho_{тв}$  – плотность твердой фазы пульпы,  $(\text{т}/\text{м}^3)$ ;  $V_{п}$  – объем рабочего пространства перемешивателя,  $V_{п} = 3 \text{ м}^3$  [4];

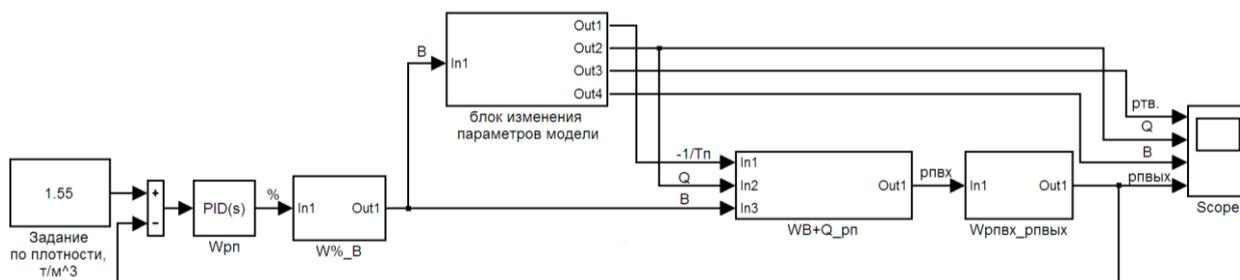


Рис. 1. Схема модели САУ процессом перемешивания пульпы перед флотацией

• модель насоса имеет передаточную функцию по каналу плотность пульпы на входе  $\rho_{\text{пвх}}$  – плотность пульпы на выходе  $\rho_{\text{пвых}}$  [11]:

$$W_{\rho_{\text{пвх}}-\rho_{\text{пвых}}}(p) = \frac{k_n}{T_n p + 1}, \quad (4)$$

где  $k_n$  – коэффициент передачи насоса, принятый равным 1, т.к. при прохождении через него пульпа плотность не меняет;  $T_n$  – постоянная времени,  $T_n = 0,0667$  мин [10].

Коэффициент передачи клапана рассчитывался как отношение наибольшего расхода воды в перемешиватель  $B_{\text{max}} = 340$  м<sup>3</sup>/ч к максимальной степени открытия клапана, равной 100 %:

$$k_k = \frac{B_{\text{max}}}{100\%} = 3,4 \text{ (м}^3\text{/ч)}/\%. \quad (5)$$

Коэффициенты  $k_n$  и  $T_n$  были найдены по формуле (3), исходя из средних значений плотности твердой фазы пульпы  $\rho_{\text{тв}} = 5$  т/м<sup>3</sup>, ее максимального расхода  $Q_{\text{max}} = 300$  т/ч и расхода воды  $B_{\text{max}} = 340$  м<sup>3</sup>/ч:  $k_n = 0,15 \text{ (т/м}^3\text{)} \text{ (м}^3\text{/ч)}$ ;  $T_n = 0,45$  мин.

Параметры  $B_{\text{max}}$ ,  $\rho_{\text{тв}}$ ,  $Q_{\text{max}}$ ,  $V_n$  взяты из характеристик оборудования и лабораторного анализа сырья Михайловского ГОКа.

Настройка регулятора плотности пульпы осуществлялась по критерию «модульного оптимума». Для компенсации двух наибольших постоянных времени  $T_k$  и  $T_n$  был выбран ПИД-регулятор с передаточной функцией [8, 19]:

$$W_{\text{рп}}(p) = k_p + k_d p + k_i \frac{1}{p}, \quad (6)$$

где  $k_p$ ,  $k_d$ ,  $k_i$  – коэффициенты пропорциональности, дифференцирования и интегрирования регулятора соответственно,

$$k_p = 1160,79; \quad k_d = 207,05; \quad k_i = 1568,67 \text{ мин}^{-1}.$$

В блоке «Изменение параметров модели» случайным образом варьировались величины  $\rho_{\text{тв}}$  и  $Q$ , которые рассматривались как возмущающие факторы, приводящие к колебаниям плотности пульпы.

Результаты моделирования приведены на рис. 2. Скачкообразное увеличение плотности твердой фазы  $\rho_{\text{тв}}$  с 5 до 5,5 т/м<sup>3</sup> при  $t_1 = 5$  мин вызывает рост плотности пульпы  $\rho_n$ . Регулятор ее стабилизирует увеличением расхода воды  $B$  с 57 до 62 м<sup>3</sup>/ч. Если  $\rho_{\text{тв}}$  снижается с 5,5 до 5 т/м<sup>3</sup>, а  $Q$  – с 300 до 250 т/ч при  $t_2 = 10$  мин, то плотность пульпы также уменьшается, и регулятор компенсирует это уменьшением расхода воды до 47 м<sup>3</sup>/ч. В момент времени  $t_3 = 15$  мин, неизменной величине  $Q = 250$  т/ч и скачке плотности  $\rho_{\text{тв}}$  с 5 до 5,5 т/м<sup>3</sup> расход воды становится еще больше и достигает 51 м<sup>3</sup>/ч. Перерегулирование по выходной переменной  $\rho_n$  не превышает 0,5 %, а время регулирования составляет 1 мин, что меньше периода изменения свойств пульпы, который при моделировании принят равным 5 мин.

### Заключение

Предложенная в данной статье модель САУ процессом перемешивания пульпы позволяет исследовать влияние таких факторов, как плотность и расход твердой фазы суспензии, на плотность пульпы, поступающей на флотацию.

Результаты моделирования показали, что в условиях неустойчивости физико-механических свойств руды данная система поддерживает на заданном уровне плотность пульпы в перемешивателе. При этом величина перерегулирования

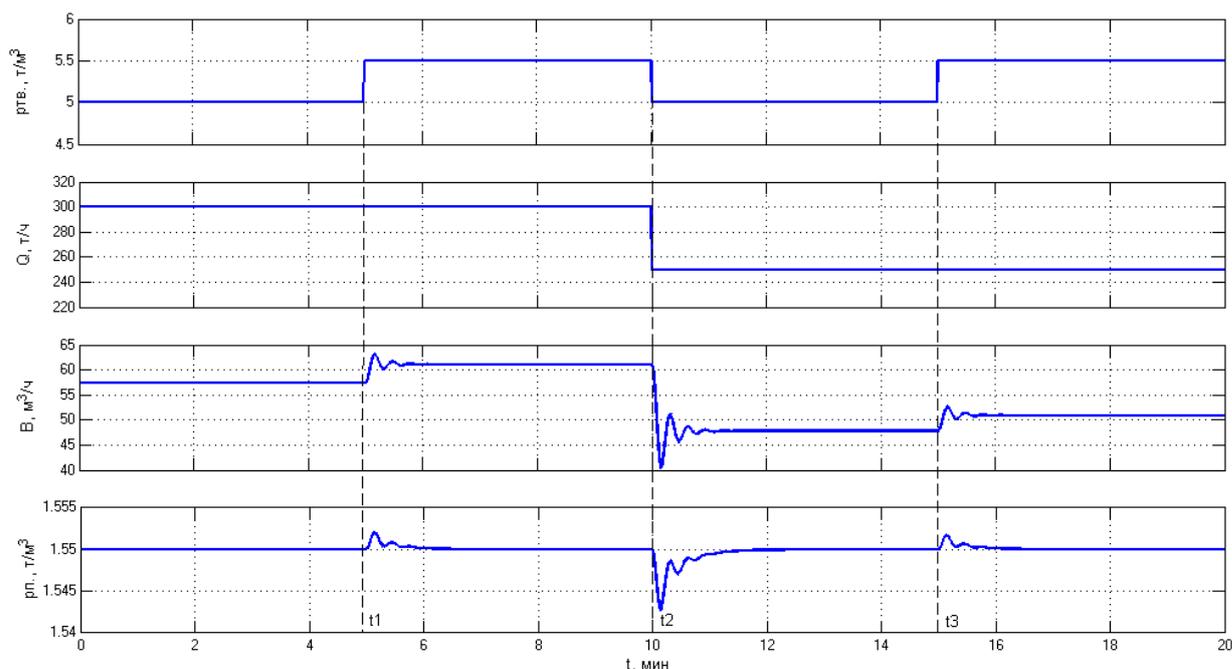


Рис. 2. Переходные процессы изменения расхода воды  $V$  и плотности пульпы  $\rho_p$  при скачкообразном изменении плотности  $\rho_{тв}$  и расхода по твердому  $Q$

достигает 0,5 %, а время регулирования процесса меньше периода изменения свойств пульпы и составляет 1 мин.

Таким образом, доказана целесообразность применения САУ перемешиванием в составе АСУ ТП на горнорудных предприятиях при подготовке к флотационному обогащению.

#### Библиографический список

1. Свириденко А.О., Беляков С.А.. Средства автоматизации в технологическом процессе флотации руд полезных ископаемых // Записки Горного института. – 2011. – Т. 192. – С. 183-186.
2. Курчуков А.М. Автоматизированная система управления процессом флотации медно-никелевых руд на основе оптимизации параметров ионного состава и пенообразования: Дис. ... канд. техн. наук. – Санкт-Петербург: 2011, ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный горный университет. – 160 с.
3. Мандра А.Г. Анализ связанной системы автоматического регулирования уровня воды в баке системы химводоподготовки. URL: <http://matlab.exponenta.ru/simulink/book3/10.php> (дата обращения: 24.01.2017).
4. Марюта А.Н., Качан Ю.Г., Бунько В.А. Автоматическое управление технологиче-

скими процессами обогатительных фабрик: Учеб. для вузов. – М.: Недра, 1983. – 277 с.

5. Осипова Н.В., Пипия Д.В. Система автоматического регулирования плотности пульпы в перемешивателе при подготовке к флотационному обогащению // Горная промышленность. – 2017. – № 3 (133). – С. 92-93.

6. Патент РФ № 2567330, 10.09.2016. Куркин В.А., Народицкис А., Бабушкин А.А и др. Способ управления технологическим процессом флотации. 2016. Бюл. № 25.

7. Патент РФ № 2567330, 10.11.2015. Зимин А.В., Арустамян М.А. др. Способ автоматического контроля и управления процессом флотации. 2015. Бюл. № 31.

8. Певзнер Л.Д. Теория систем управления. – СПб.: Лань. – 2013. – 440 с.

9. Подоляк М.В. Автоматизация процесса флотации золотосодержащих сульфидных руд // Молодежь и наука: Сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 155-летию со дня рождения К.Э. Циолковского [Электронный ресурс]. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2012. URL: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/section03.html>

10. Федюн Р.В., Абакумов А.Ю.. Система автоматического управления теплообеспечением спортивного комплекса // Научные труды ДонНТУ. Серия: Вычислительная техника и автоматизация. – 2013. – № 1. – С. 64-71.

11. Синтез и моделирование промышленной системы автоматического управления: методич. указ. / В.М. Журомский, В.В. Чернокозов. – М.: МГТУ «МАМИ», 2009. – 41 с.
12. Pikilnyak A.. Adaptive control system of the iron ore flotation using a control action based on high-energy ultrasound, Metallurgical and Mining Industry. 2015, no 2, pp. 27-30.
13. Knights B.D.H.. Performance improvements provided by Mintek's FloatStar Advanced Control System on reverse-flotation of iron ore// The Southern African Institute of Mining and Metallurgy (SAIMM) 2011 – Iron Ore and Manganese Ore Metallurgy Conference, Johannesburg, South Africa, July 2011, pp. 1-4.
14. Daniel Geraldo Cruz, Rosa Malena Fernandes Lima. Influence of Mn<sup>2+</sup> ion in reverse cationic flotation of iron ore, Rem: Revista Escola de Minas, 2015, vol. 68, no 3, pp. 319-322. <http://dx.doi.org/10.1590/0370-44672015680051>
15. Hasan Ali Taner, Vildan Onen. Control of clay minerals effect in flotation. A review// E S Web of Conferences, 2016, pp. 1-6. <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/section03.html>.
16. Li Lin, Liu Jiong-tian, Wang Yong-tian, Cao Yi-jun, Zhang Hai-jun, Yu He-sheng. Experimental research on anionic reverse flotation of hematite with a flotation column// The 6<sup>th</sup> International Conference on Mining Science & Technology, 2009, pp. 791-798.
17. Mark Ma. Froth Flotation of Iron Ores. International Journal of Mining Engineering and Mineral Processing, 2012, 1(2), pp. 56-61. doi: 10.5923/j.mining.20120102.06
18. Mauricio Bergerman, Sérgio Coutinho, Filipe Guimarães etc. Optimizing control system for desliming and flotation in an iron ore column flotation at the pico mine// 3<sup>rd</sup> International Meeting on ironmaking and 2<sup>nd</sup> International Symposium of Iron Ore, 2008, pp. 104-113.
19. PID controllers: theory, design, and tuning / Karl Johan Aström and Tore Hägglund. – 2nd ed, 1995, 344 p.
20. Plinio Eduardo Praes, Rodrigo Oscar de Albuquerque, Antonio Furquim Oliveira Luz. Recovery of Iron Ore Tailings by Column Flotation, Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering Ore, 2013, vol. 1, no 5, pp. 212-216.
21. Radić R., Milošević Ž., Jurić S., Čudić S.. Flotation of ores and waste waters, Metalurgija 2016, vol. 55, no 4, pp. 832-834
22. Wen-li Jiang, Hai-feng Xu. Treatment and Recycling of the Process Water in Iron Ore Flotation of Yuanjiacun Iron Mine, Journal of Chemistry, 2017, vol. 2017, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1155/2017/9187436>
23. Xianping Luo, Bo Fenga, Cunjian Wonga, Jiancheng Miaoc, Bin Mac, Hepeng Zhou. The critical importance of pulp concentration on the flotation of galena from a low grade lead-zinc ore, Journal of Materials Research and Technology. 2016, vol. 5, pp. 131-135.

“Gornye nauki i tehnologii”/ “Mining science and technology”, 2018, No. 1, pp. 108-112

<b>Title:</b>	<b>MODEL OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR PROCESS OF PULP MIXING BEFORE FLOTATION</b>
<b>Author 1:</b>	Name & Surname: <b>N.V. Osipova</b> Company: <b>National University of Science and Technology "MISIS"</b> Address: <b>4, Leninsky Prospekt, Moscow, Russia, 119991</b> Scientific Degree: <b>Cand. Sci. (Tech.)</b> Contacts: <b>nvo86@mail.ru</b>
<b>Author 2:</b>	Name & Surname: <b>D.V. Pipiya</b> Company: <b>National University of Science and Technology "MISIS"</b> Address: <b>4, Leninsky Prospekt, Moscow, Russia, 119991</b> Contacts: <b>pipiya.1992@mail.ru</b>
<b>DOI:</b>	<b>10.17073/2500-0632-2018-1-108-112</b>
<b>Abstract:</b>	The paper provides a brief overview of researches on automation of flotation beneficiation. The main disadvantages of existing systems and methods for regulating parameters of this process have been revealed, which consist in low speed, errors in determining control action, and incapability of stabilizing pulp density in a mixer. In this connection, a conclusion is made about the relevance of development of an ACS for the process of pulp mixing before flotation, which will allow maintaining the specified density at a given level. Modeling using Matlab Simulink software package was chosen as the research method. At

	the same time, mathematical description of such elements of the ACS model as the valve, the mixer, the pump, the PID controller is given. The modeling provided time diagrams reflecting the principle of the pulp density stabilization by manipulating the flow of water into the mixer with abrupt change in the pulp solid phase density and flow. Conclusions are given on the possibility of using the ACS as part of an automated process control system at mining enterprises, since the system model operation showed satisfactory results in density control with small readjustment and low control time.
<b>Keywords:</b>	flotation, mixer, floatability, aeration, concentrate, tailings, training sample, valve, regulator, density meter.
<b>References:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sviridenko A.O., Beljakov S.A.. Sredstva avtomatizacii v tehnologicheskom processe flotacii rud poleznyh iskopaemyh [<i>Means of automation in the technological process of flotation of ores of minerals</i>]. Zapiski Gornogo instituta, 2011, pp. 183-186.</li> <li>2. Kurchukov A.M. Avtomatizirovannaja sistema upravlenija processom flotacii medno-nikelevyh rud na osnove optimizacii parametrov ionnogo sostava i pe-noobrazovanija Diss. kand. techn. nauk [<i>Automated process control system of flotation of copper-nickel ores based on the optimization of ionic composition parameters and foaming</i>]. Sankt-Peterburg, Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj gornyj universitet, 2011. 160 p.</li> <li>3. Mandra A.G. Analiz svjazanoj sistemy avtomaticheskogo regulirovanija urovnja vody v bake sistemy himvodopodgotovk [<i>Analysis of the connected automatic water level regulation system in the tank of the water treatment system</i>]. Available at: <a href="http://matlab.exponenta.ru/simulink/book3/10.php">http://matlab.exponenta.ru/simulink/book3/10.php</a> (accessed 4 June 2017).</li> <li>4. Marjuta A.N., Kachan Ju.G., Bun'ko V.A. Avtomaticheskoe upravlenie tehnologicheskimi processami obogatitel'nyh fabrik: Uchebnik dlja vuzov [<i>Automatic control of technological processes of concentrating factories: the Textbook for high schools</i>]. Nedra, 1983, 277 p.</li> <li>5. Osipova N.V., Pipija D.V. Sistema avtomaticheskogo regulirovanija plotnosti pul'py v peremeshivatele pri podgotovke k flotacionnomu obogashheniju [<i>Automatic control system pulp density in the agitator during preparation for flotation</i>]. Gornaja promyshlennost, 2017, no. 3 (133), pp. 92-93.</li> <li>6. Kurkin V. A., Narodickis A., Babushkin A.A., et al. Sposob upravlenija tehnologicheskim processom flotacii [<i>Method for managing the technological way of flotation</i>]. Patent RF № 2567330, 2016.</li> <li>7. Zimin A.V., Arustamjan M.A., et al. Sposob avtomaticheskogo kontrolja i upravlenija processom flotacii [<i>Method for automatic monitoring and control of the flotation process</i>]. Patent RF № 2567330, 2015.</li> <li>8. Pevzner L.D. Teorija sistem upravlenija [<i>Theory of control systems</i>]. Sankt-Peterburg, Lan', 2013, 440 p.</li> <li>9. Podoljak M.V. Avtomatizacija processa flotacii zolotosoderzhashchih sul'fidnyh rud [<i>Automation of flotation process of gold-bearing sulfide ores</i>]. Molodezh' i nauka. Sbornik materialov VIII Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh, posvjashhennoj 155-letiju so dnja rozhdenija K. Je. Ciolkovskogo [<i>Collected materials of the All-Russian scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists dedicated to the 155th anniversary of K. E. Tsiolkovsky</i>]. Krasnojarsk. Sibirskij federal'nyj un-t, 2012. Available at: <a href="http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/section03.html">http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/section03.html</a> (accessed 4 June 2017).</li> <li>10. Fedjun R.V., Abakumov A.Ju.. Sistema avtomaticheskogo upravlenija teploobespecheniem sportivnogo kompleksa [<i>Automatic control system for heat supply of a sports complex</i>]. Nauchnye trudy DonNTU. Serija: Vychislitel'naja tehnika i avtomatizacija, 2013, no. 1, pp. 64-71.</li> <li>11. Sintez i modelirovanie promyshlennoj sistemy avtomaticheskogo upravlenija: metodicheskie ukazanija [<i>Synthesis and modeling of an industrial automatic</i></li> </ol>



- control system]. V.M. Zhuromskij, V.V. Chernokozov. Guidelines MGТУ «МАМИ», 2009, 41 p.
12. Pikilnyak A.. *Adaptive control system of the iron ore flotation using a control action based on high-energy ultrasound*, *Metallurgical and Mining Industry*. 2015, no 2, pp. 27-30.
13. Knights B.D.H.. *Performance improvements provided by Mintek's FloatStar Advanced Control System on reverse-flotation of iron ore. The Southern African Institute of Mining and Metallurgy (SAIMM) 2011 – Iron Ore and Manganese Ore Metallurgy Conference, Johannesburg, South Africa, July 2011*, pp. 1-4.
14. Daniel Geraldo Cruz, Rosa Malena Fernandes Lima. *Influence of Mn<sup>2+</sup> ion in reverse cationic flotation of iron ore*, *Rem: Revista Escola de Minas*, 2015, vol. 68, no 3, pp. 319-322. <http://dx.doi.org/10.1590/0370-44672015680051>
15. Hasan Ali Taner, Vildan Onen. *Control of clay minerals effect in flotation. A review*. ES Web of Conferences, 2016, pp. 1-6. <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/section03.html>.
16. Li Lin, Liu Jiong-tian, Wang Yong-tian, Cao Yi-jun, Zhang Hai-jun, Yu Hesheng. *Experimental research on anionic reverse flotation of hematite with a flotation column. The 6<sup>th</sup> International Conference on Mining Science & Technology*, 2009, pp. 791-798.
17. Mark Ma. Froth Flotation of Iron Ores. *International Journal of Mining Engineering and Mineral Processing*, 2012, 1(2), pp. 56-61. doi: 10.5923/j.mining.20120102.06
18. Mauricio Bergerman, Sergio Coutinho, Filipe Guimaraes etc. *Optimizing control system for desliming and flotation in an iron ore column flotation at the pico mine. 3<sup>rd</sup> International Meeting on ironmaking and 2<sup>nd</sup> International Symposium of Iron Ore*, 2008, pp. 104-113.
19. PID controllers: theory, design, and tuning. Karl Johan Astrom and Tore Hagglund. – 2<sup>nd</sup> ed, 1995, 344 p.
20. Plinio Eduardo Praes, Rodrigo Oscar de Albuquerque, Antonio Furquim Oliveira Luz. *Recovery of Iron Ore Tailings by Column Flotation*, *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering Ore*, 2013, vol. 1, no. 5, pp. 212-216.
21. Radic R., Milosevic Z., Juric S., Cudic S.. *Flotation of ores and waste waters*, *Metallurgy*, 2016, vol. 55, no. 4, pp. 832-834
22. Wen-li Jiang, Hai-feng Xu. *Treatment and Recycling of the Process Water in Iron Ore Flotation of Yuanjiacun Iron Mine*, *Journal of Chemistry*, 2017, vol. 2017, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1155/2017/9187436>
23. Xianping Luoa, Bo Fenga, Cunjian Wonga, Jiancheng Miaoc, Bin Mac, Hepeng Zhou. *The critical importance of pulp concentration on the flotation of galena from a low grade lead-zinc ore*, *Journal of Materials Research and Technology*. 2016, vol. 5, pp. 131-135.