

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА НЕЙТРАЛЬНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ И СГУЩЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЦИНКА

Д.Н. Дюнова

Рассматривается математическая модель процесса нейтрального выщелачивания и сгущения, основу которой составляют уравнения материального баланса. Разработана топологическая модель исследуемого объекта. Полученная модель, позволяющая определять расходы выходных материальных потоков процесса и их состав, реализована в вычислительной среде Simulink.

Ключевые слова: математическая модель, процесс выщелачивания, материальный баланс.

Выщелачивание продуктов обжига – основной технологический передел производства цинка гидрометаллургическим способом, который в значительной мере определяет технико-экономические показатели производства в целом, в первую очередь извлечение металла, расход электроэнергии, себестоимость цинка [1].

Цель процесса выщелачивания – более полное извлечение цинка и других полезных компонентов сырья в раствор при минимальном его загрязнении примесями.

Исходным сырьем является огарок, получаемый в результате окислительного обжига цинкового сульфидного материала. Выщелачивание представляет собой процесс растворения цинкового огарка в жидком растворителе. На практике процесс осуществляют отработанным электролитом, получаемым в процессе электролиза раствора сульфата цинка. При выщелачивании в раствор переходят цинк, кадмий, медь, железо и другие компоненты. Нерастворимые в слабых растворах серной кислоты соединения остаются в твердом остатке от выщелачивания – кеке.

При непрерывном способе производства цинка выщелачивание включает две ступени. Задача первой стадии выщелачивания – получение раствора, пригодного для очистки растворов от примесей железа, алюминия, мышьяка, сурьмы, кремнекислоты методом гидролиза, что можно провести лишь в нейтральной среде ($\text{pH} = 5,2\text{--}5,4$).

Цинк содержится в огарке в виде соединений: ZnO , ZnSO_4 , ZnS , $\text{ZnO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$, $2\text{ZnO}\cdot\text{SiO}_2$. Оксид цинка растворяется в растворе серной кислоты. Сульфат цинка хорошо растворяется в воде, поэтому цинк, содержащийся в сульфатной форме, полностью переходит в раствор на нейтральной стадии выщелачивания. Феррит и сульфид цинка в разбавленных растворах серной кислоты практически нерастворимы и переходят в твердый остаток. Наиболее легко растворяется оксид меди с образованием сульфата меди. Ферриты и сульфиды меди переходят в кек. Кадмий присутствует в обожженном концентрате в виде CdO , CdSO_4 , CdS , $\text{CdO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$. Хорошо растворяется оксид кадмия с

образованием сульфата. Ферриты и сульфиды кадмия переходят в твердый остаток. Свинец при серноокислотном выщелачивании практически весь переходит в кек в виде труднорастворимого сульфата PbSO_4 . Присутствующий в огарке оксид железа FeO легко взаимодействует со слабой серной кислотой; трехвалентное соединение Fe_2O_3 практически не растворимо. При выщелачивании обожженного концентрата получается нейтральная пульпа (смесь сульфатного раствора и нерастворимого остатка) с содержанием твердого 20–70 г/л. Для проведения последующих технологических операций ее подвергают разделению на твердую и жидкую фазы путем сгущения и отстаивания. Здесь протекают довольно сложные физико-химические процессы, которые внешне проявляются в осаждении твердых частиц в жидкой среде. После отстаивания получается верхний слив с содержанием твердого 1–4 г/л и сгущенная пульпа с определенным отношением масс жидкой и твердой фаз ($\text{ж} : \text{т} = (2\text{--}3) : 1$).

Рассматривая процессы нейтрального выщелачивания и сгущения как единый объект, выделим основные группы его параметров. Входными параметрами являются расход потока огарка, верхнего слива кислых сгустителей (ВСКС) и поток отработанного электролита (ОЭ). Продукты передела – верхний слив нейтральных сгустителей (ВНС), нижний слив нейтральных сгустителей (НС), содержащий твердую фазу $\text{НС}_\text{т}$ и жидкую фазу $\text{НС}_\text{ж}$.

С целью исследования процесса нейтрального выщелачивания цинковых огарков и изучения его характеристик интерес представляет получение математической модели, позволяющей определять количество получаемых продуктов рассматриваемого производственного передела на основе информации о количестве поступающих на переработку материальных потоков и их химических составах.

Математическую модель выщелачивания и сгущения представим в виде совокупности балансовых соотношений по твердой и жидкой фазам, а также по компонентам, переходящим в раствор и образующим «цинковый» кек.

Баланс по твердой фазе определяется соотношением:

$$F_{\text{НСНС}_T} = F_1(C_{\text{ZnO}}^1(1-\alpha_1) + C_{2\text{ZnO}\cdot\text{SiO}_2}^1(1-\alpha_1) + C_{\text{ZnS}}^1 + C_{\text{ZnO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3}^1 + C_{\text{CuS}}^1 + C_{\text{CuO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3}^1 + C_{\text{PbO}}^1 + C_{\text{PbSO}_4}^1 + C_{\text{CdS}}^1 + C_{\text{CdO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3}^1 + C_{\text{SiO}_2}^1 + C_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^1 + C_{\text{пр}}^1), \quad (1)$$

где $F_{\text{НСНС}_T}$ – расход твердой фазы нижнего слива нейтральных сгустителей, кг/ч; F_1 – расход огарка, кг/ч; C_{ZnO}^1 – содержание в огарке оксида цинка, %; $C_{2\text{ZnO}\cdot\text{SiO}_2}^1$ – содержание силиката цинка в огарке, %; C_{ZnS}^1 – содержание в огарке сульфида цинка, %; $C_{\text{ZnO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3}^1$ – содержание в огарке феррита цинка, %; C_{CuS}^1 – содержание в огарке сульфида меди, %; $C_{\text{CuO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3}^1$ – содержание феррита меди в огарке, %; C_{PbO}^1 – содержание оксида свинца в огарке, %; $C_{\text{PbSO}_4}^1$ – содержание сульфата свинца в огарке, %; $C_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^1$ – содержание в огарке оксида железа (III), %; $C_{\text{пр}}^1$ – содержание прочих компонентов в огарке, %; α_1 – доля оксида цинка, перешедшего в раствор.

Баланс по жидкой фазе:

$$Q_{\text{ВСНС}}\rho_{\text{ВСНС}} = Q_{\text{ВСКС}}\rho_{\text{ВСКС}} + F_1 + Q_{\text{ОЭ}}\rho_{\text{ОЭ}} - F_{\text{НСНС}_T} - Q_{\text{НСНС}_ж}\rho_{\text{НСНС}_ж}, \quad (2)$$

$$Q_{\text{НСНС}_ж}\rho_{\text{НСНС}_ж} = F_{\text{НСНС}_T}\alpha_2, \quad (3)$$

где $Q_{\text{ВСНС}}$ – расход ВСНС, м³/ч; $\rho_{\text{ВСНС}}$ – плотность ВСНС, кг/м³; $Q_{\text{ВСКС}}$ – расход ВСКС, м³/ч; $\rho_{\text{ВСКС}}$ – плотность ВСКС, кг/м³; F_1 – расход цинкового огарка, кг/ч; $Q_{\text{ОЭ}}$ – расход ОЭ, м³/ч; $\rho_{\text{ОЭ}}$ – плотность ОЭ, кг/м³; $Q_{\text{НСНС}_ж}$ – расход жидкой фазы НСНС, м³/ч; $\rho_{\text{НСНС}_ж}$ – плотность жидкой фазы НСНС, кг/м³; α_2 – величина ж : т в НСНС.

Балансовое соотношения по цинку в растворах:

$$(Q_{\text{ВСНС}} + Q_{\text{НСНС}_ж})C_{\text{Zn}}^{\text{ВСНС}} = Q_{\text{ВСКС}}C_{\text{Zn}}^{\text{ВСКС}} + Q_{\text{ОЭ}}C_{\text{Zn}}^{\text{ОЭ}} + [\alpha_1 F_1 (C_{\text{ZnO}}^1 z_1 + C_{2\text{ZnO}\cdot\text{SiO}_2}^1 z_2) + F_1 C_{\text{ZnSO}_4}^1 z_3], \quad (4)$$

где $C_{\text{Zn}}^{\text{ВСНС}}$ – концентрация цинка в ВСНС, г/л; $C_{\text{Zn}}^{\text{ВСКС}}$ – концентрация цинка в ВСКС, г/л; $C_{\text{Zn}}^{\text{ОЭ}}$ – концентрация цинка в ОЭ, г/л; z_1, z_2, z_3 – стехиометрические коэффициенты пересчета; $C_{\text{ZnSO}_4}^1$ – концентрация сульфата цинка в огарке, %.

Балансовое соотношение по меди в растворе:

$$(Q_{\text{ВСНС}} + Q_{\text{НСНС}_ж})C_{\text{Cu}}^{\text{ВСНС}} = Q_{\text{ВСКС}}C_{\text{Cu}}^{\text{ВСКС}} + F_1(C_{\text{CuO}}^1 z_4 + C_{\text{CuSO}_4}^1 z_5), \quad (5)$$

где $C_{\text{Cu}}^{\text{ВСНС}}$ – концентрация меди в ВСНС, г/л; $C_{\text{Cu}}^{\text{ВСКС}}$ – концентрация меди в ВСКС, г/л; z_4, z_5 – стехиометрические коэффициенты пересчета; $C_{\text{CuSO}_4}^1$ – концентрация сульфата меди в огарке, %; C_{CuO}^1 – концентрация оксида меди в огарке, %.

Балансовое соотношение по кадмию в растворе:

$$(Q_{\text{ВСНС}} + Q_{\text{НСНС}_ж})C_{\text{Cd}}^{\text{ВСНС}} = Q_{\text{ВСКС}}C_{\text{Cd}}^{\text{ВСКС}} + F_1 C_{\text{CdO}}^1 z_6 + C_{\text{CdSO}_4}^1 z_7, \quad (6)$$

где $C_{\text{Cd}}^{\text{ВСНС}}$ – концентрация кадмия в ВСНС, г/л; $C_{\text{Cd}}^{\text{ВСКС}}$ – концентрация кадмия в ВСКС, г/л; z_6, z_7 – стехиометрические коэффициенты пересчета; $C_{\text{CdSO}_4}^1$ – концентрация сульфата кадмия в огарке, %; C_{CdO}^1 – содержание оксида кадмия в огарке, %.

Баланс по компонентам, образующим твердую фазу НСНС:

$$F_{\text{НСНС}_T} C_{\text{ZnO}}^{\text{НСНС}_T} = (1-\alpha_1)F_1 C_{\text{ZnO}}^1, \quad (7)$$

$$F_{\text{НСНС}_T} C_{2\text{ZnO}\cdot\text{SiO}_2}^{\text{НСНС}_T} = (1-\alpha_1)F_1 C_{2\text{ZnO}\cdot\text{SiO}_2}^1, \quad (8)$$

$$F_{\text{НСНС}_T} C_{\text{ZnS}}^{\text{НСНС}_T} = F_1 C_{\text{ZnS}}^1, \quad (9)$$

$$F_{\text{НСНС}_T} C_{\text{ZnO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3}^{\text{НСНС}_T} = F_1 C_{\text{ZnO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3}^1, \quad (10)$$

$$F_{\text{НСНС}_T} C_{\text{CuS}}^{\text{НСНС}_T} = F_1 C_{\text{CuS}}^1, \quad (11)$$

$$F_{\text{НСНС}_T} C_{\text{CuO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3}^{\text{НСНС}_T} = F_1 C_{\text{CuO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3}^1, \quad (12)$$

$$F_{\text{НСНС}_T} C_{\text{PbSO}_4}^{\text{НСНС}_T} = F_1 (C_{\text{PbSO}_4}^1 + C_{\text{PbO}}^1 z_8), \quad (13)$$

$$F_{\text{НСНС}_T} C_{\text{CdS}}^{\text{НСНС}_T} = F_1 C_{\text{CdS}}^1, \quad (14)$$

$$F_{\text{НСНС}_T} C_{\text{CdO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3}^{\text{НСНС}_T} = F_1 C_{\text{CdO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3}^1, \quad (15)$$

$$F_{\text{НСНС}_T} C_{\text{SiO}_2}^{\text{НСНС}_T} = F_1 C_{\text{SiO}_2}^1, \quad (16)$$

$$F_{\text{НСНС}_T} C_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^{\text{НСНС}_T} = F_1 C_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^1, \quad (17)$$

$$F_{\text{НСНС}_T} C_{\text{пр}}^{\text{НСНС}_T} = F_1 C_{\text{пр}}^1, \quad (18)$$

где $C_{\text{ZnO}}^{\text{НСНС}_T}$ – содержание оксида цинка в твердой фазе НСНС, %; $C_{2\text{ZnO}\cdot\text{SiO}_2}^{\text{НСНС}_T}$ – содержание силиката цинка в твердой фазе НСНС, %; $C_{\text{ZnS}}^{\text{НСНС}_T}$ – содержание сульфида цинка в твердой фазе НСНС, %; $C_{\text{ZnO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3}^{\text{НСНС}_T}$ – содержание феррита цинка в твердой фазе НСНС, %; $C_{\text{CuS}}^{\text{НСНС}_T}$ – содержание сульфида меди в твердой фазе НСНС, %; $C_{\text{PbSO}_4}^{\text{НСНС}_T}$ – содержание сульфата свинца в твердой фазе НСНС, %; $C_{\text{CdS}}^{\text{НСНС}_T}$ – содержание сульфида кадмия в твердой фазе НСНС, %; $C_{\text{CdO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3}^{\text{НСНС}_T}$ – содержание феррита кадмия в твер-

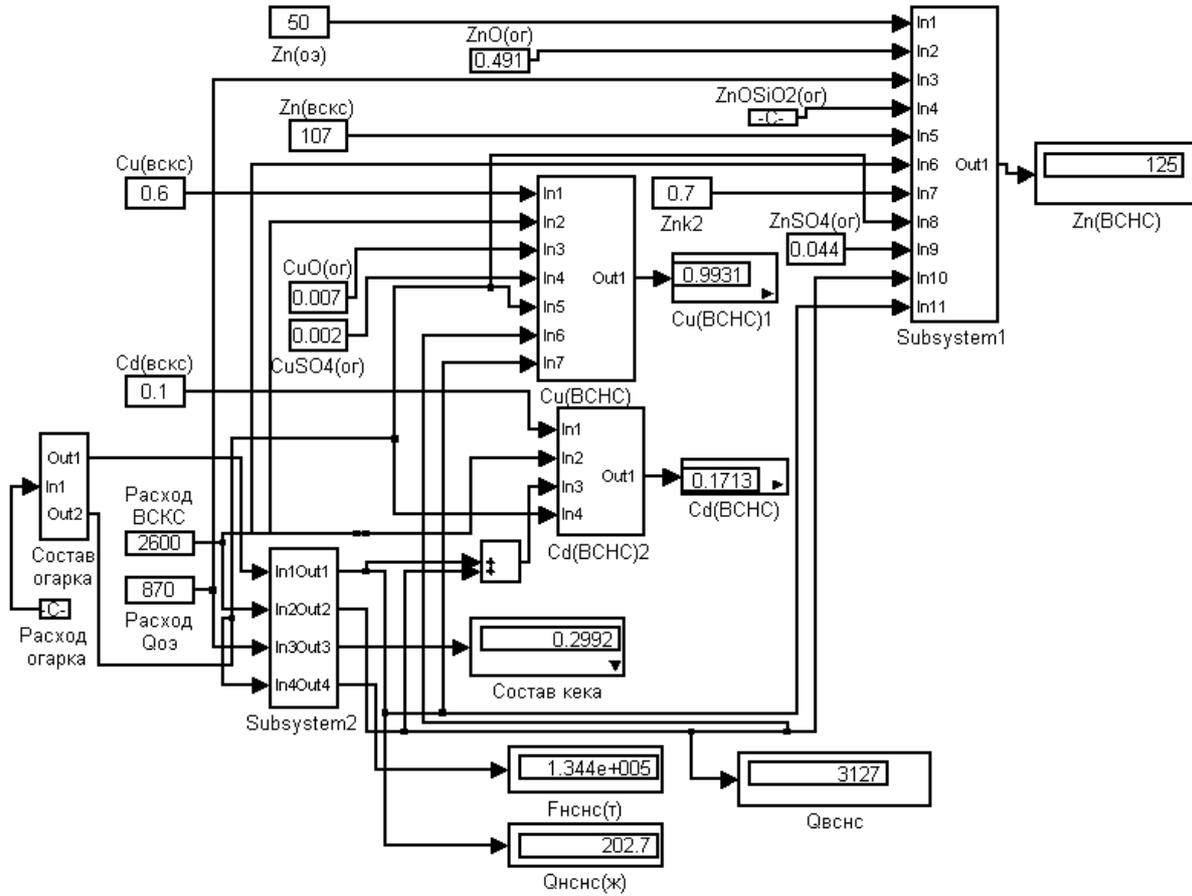


Рис. 2. Simulink-модель процесса нейтрального выщелачивания и сгущения

$PbSO_4 - 1,14$; $PbO - 0,85$; $FeO - 0,87$; $Fe_2O_3 - 0,568$; $SiO_2 - 1,97$; прочие - 5,99.

Для взаимодействия с огарком поступает ВСКС в количестве $118 \text{ м}^3/\text{ч}$, содержащий: $Zn - 107 \text{ г/л}$; $Cu - 0,6 \text{ г/л}$; $Cd - 0,1 \text{ г/л}$; $H_2SO_4 - 1,5 \text{ г/л}$ и отработанный электролит в количестве $36 \text{ м}^3/\text{ч}$, содержащий: $Zn - 50 \text{ г/л}$; $H_2SO_4 - 0,1 \text{ г/л}$. Значения α_1 , α_2 и плотности соответствующих веществ являются исходными данными для расчета, полученными по данным практики работы цинкового производства.

В результате расчета получено: расход ВСНС - $141,6 \text{ м}^3/\text{ч}$; расход НСНС_ж - $2,74 \text{ м}^3/\text{ч}$; расход

НСНС_т - 1822 кг/ч . ВСНС содержит: $Zn - 108 \text{ г/л}$; $Cu - 0,7 \text{ г/л}$; $Cd - 0,1 \text{ г/л}$. Состав НСНС_т, %: $ZnO - 29,92$; $2ZnO \cdot SiO_2 - 2,82$; $ZnS - 1,4$; $ZnO \cdot Fe_2O_3 - 39,61$; $CuS - 0,603$; $CuO \cdot Fe_2O_3 - 0,203$; $CdS - 1,016$; $CdO \cdot Fe_2O_3 - 2,031$; $PbSO_4 - 1,62$; $Fe_2O_3 - 1,625$; $SiO_2 - 1,016$, прочие - 14,22.

Полученная математическая модель позволяет получить статические характеристики объекта моделирования в виде зависимостей $Q_{ВСНС}(Q_{ВСКС})$, $C_{Zn(ВСНС)}(Q_{ВСКС})$, $Q_{ВСНС}(Q_{ОЭ})$, $C_{Zn(ВСНС)}(Q_{ОЭ})$ (рис. 3-6).

Таким образом, разработанное математическое описание процесса нейтрального выщелачи-

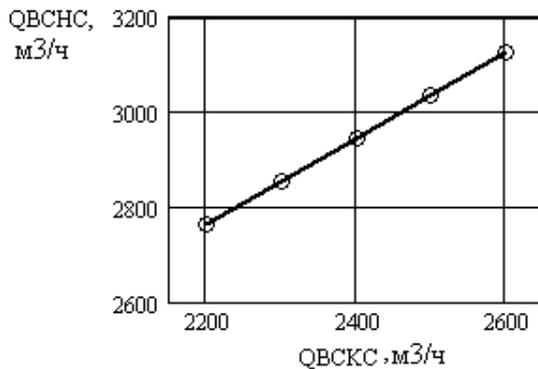


Рис. 3. Статическая характеристика $Q_{ВСНС}(Q_{ВСКС})$

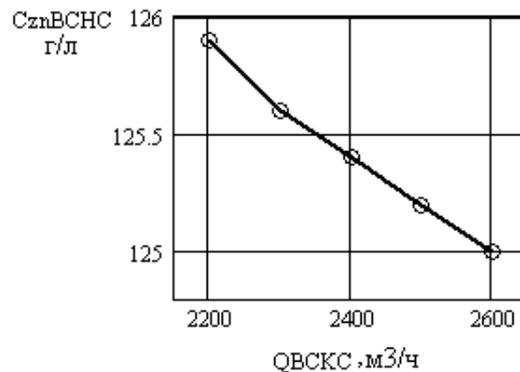


Рис. 4. Статическая характеристика $C_{Zn(ВСНС)}(Q_{ВСКС})$

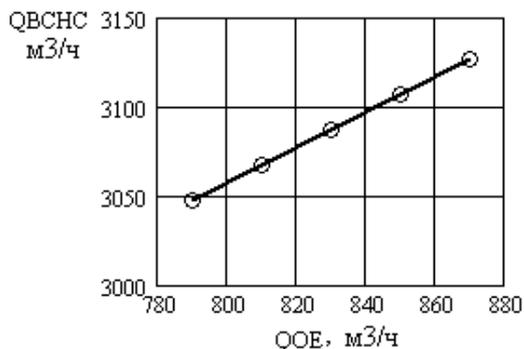


Рис. 5. Статическая характеристика $Q_{VCHC}(Q_{VCKC})$

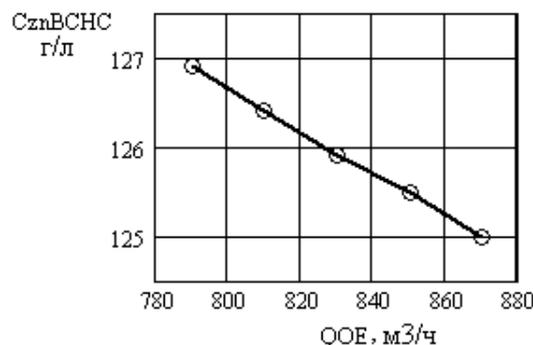


Рис. 6. Статическая характеристика $C_{ZnVCHC}(Q_{VCKC})$

вания и сгущения позволяет прогнозировать количественные значения массовых расходов выходных материальных потоков ВСНС, НСНС_ж, а также их компонентов на основе измерительной информации о массовых расходах входных потоков. Математическая модель может быть использована при проектировании новых и анализе функционирования действующих гидрометаллургических систем, а также для решения вопросов по установлению расходных норм по сырью, технологическим показателям и определе-

нию неучтенных потерь компонентов сырья в условиях промышленной эксплуатации.

Литература

1. Снурников, А.П. Гидрометаллургия цинка: учеб. пособие / А. П. Снурников. – М.: Metallurgy, 1981 – 382 с.
2. Кафаров, В.В. Принципы математического моделирования химико-технологических систем: учеб. пособие / В.В. Кафаров, В.Л. Перов, В.П. Мешалкин. – М.: Химия, 1974 – 343 с.

Дюнова Диана Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры теории и автоматизации металлургических процессов и печей, Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет). 362000, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44. Тел.: (88672)743815. E-mail: Dunova_DN@mail.ru.

*Bulletin of the South Ural State University
Series "Metallurgy"
2013, vol. 13, no. 1, pp. 40–44*

MATHEMATICAL MODEL OF NEUTRAL LEACHING AND CONDENSATION PROCESS IN ZINC PRODUCTION

D.N. Dyunova

The paper considers a mathematical model of neutral leaching and condensation process based on material balance equations. The topological model of the studied object is developed. The model obtained permits to define expenditures of output material flows of the process and their composition. It is implemented in Simulink software environment.

Keywords: mathematical model, leaching process, material balance.

Dyunova Diana Nikolaevna, candidate of engineering science, associate professor of the Theory and Automation of Metallurgical Processes and Furnaces Department, North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University). 44 Nikolayev street, Vladikavkaz, Republic of North Osetia–Alania, Russia 362000. Tel.: 7(8672)743815. E-mail: Dunova_DN@mail.ru.

Поступила в редакцию 14 марта 2013 г.