



С.И. Евдокимов



В.С. Евдокимов

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА ИЗ СТЕКОЛЬНОГО КВАРЦЕВОГО ПЕСКА

С.И. Евдокимов*, В.С. Евдокимов**

Аннотация. Объектом исследований являлись стекольные кварцевые пески, содержащие 97,07 % SiO_2 , 0,34 % Fe_2O_3 , 1,06 % Al_2O_3 , 0,09 % TiO_2 , 0,007 % Cr_2O_3 , 0,31 % CaO , 0,27 % MgO , 0,03 % MnO , 0,14 % K_2O , 0,07 % Na_2O , 0,09 % SO_3 , 0,52 % п.п.п. В песках преобладает фракция крупностью (-0,315+0,100) мм, выход которой составляет 79,64 %; выход мелких фракций (крупностью < 0,100 мм), в том числе минералов глины, не превышает 12 %.

Для обезжелезнения песков использован способ флотации паровоздушной смесью по схеме «в две струи»: из 1/2 части песков выделяют пенный продукт I струи флотации и смешивают его с другой 1/2 частью песков – II струей флотации. Отличительной особенностью II струи флотации является использование в качестве газовой фазы смеси воздуха с горячим (>100 °С) водяного пара, что позволяет получать пески марки ВС-030-В (массовая доля оксида кремния SiO_2 не менее 98,5 %, оксида железа Fe_2O_3 не более 0,03 %, оксида алюминия Al_2O_3 не более 0,6 %). Расход греющего пара при использовании технологии паровоздушной флотации составляет 1,79 кг/т песка ($9,7 \times 10^{-4}$ Гкал/т песка).

Ключевые слова: стекольная промышленность, кварцевый песок, добыча оксида железа, флотации смеси пара и воздуха.

Актуальность решаемой проблемы связана с новой экономической и технической ситуацией в России: рост производства стеклянной тары в 14 раз, листового стекла в 1,7 раза вызвал необходимость расширения сырьевой базы с вовлечением в хозяйственный оборот кварцевых песков сложного вещественного состава, которые по содержанию оксидов железа не отвечают требованию стекольной промышленности.

Традиционные решения построения технологических схем обогащения [1] некондиционных по содержанию примесей кварцевых песков становятся малоэффективными, прежде всего вследствие изменения технологических и экономических критериев. Цель работы – вопросы проектирования схемы эффективного обезжелезнения стекольных кварцевых песков на основе использования современных достижений в области флотационной техники и технологии.

Объектом исследований являлась малотоннажная проба стекольных кварцевых песков месторождения Ивановское-2 (Пензенская обл.). Из результатов исследования гранулометрического состава песков следует, что в них преобладает фракция крупностью (-0,315+0,100) мм, выход которой составляет 79,64 %; выход мелких фракций (крупностью < 0,100 мм), в том числе

минералов глины, не превышает 12 % (табл. 1).

Основная масса зерен кварца представлена полу- и прозрачными разновидностями, имеют ровный, реже зазубренный контур. Но есть блестящие, серые, бурые и серо-желтые зерна кварца изометричной и ксеноморфной формы,

Таблица 1

Результаты гранулометрического анализа песков

Размер фракции, мм	Выход фракции, %
+1,0	0,46
-1+0,63	0,63
-0,63+0,40	2,56
-0,40+0,315	5,38
-0,315+0,200	14,84
-0,200+0,160	37,33
-0,160+0,100	27,47
-0,100+0,063	4,05
-0,063	7,28

* Евдокимов С. И. – к. т. н., доцент кафедры «Обогащение полезных ископаемых» Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета) (eva-ser@mail.ru).

** Евдокимов В. С. – бакалавр ООО «НПП ГЕОС», кафедра «Обогащение полезных ископаемых» Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета) (19-Vadik-93@mail.ru).

Таблица 2

Химический состав и pH воды, применяемой для флотации

Наименование показателя	Значение показателя	Наименование показателя	Значение показателя
запах, баллы	0	цинк, мг/дм ³	0,076
прозрачность, мм	<30	натрий, мг/дм ³	9-10
Цвет	бесцветная	калий, мг/дм ³	1,2-1,5
pH	7,05-7,99	общая жесткость, моль/дм ³	3,2-3,3
хлориды, мг/дм ³	11,0-13,0	сухой остаток, мг/дм ³	250
сульфаты, мг/дм ³	28,0-30,0	общее микробное число (ОМЧ), КОЕ/1 мл	отсутствие
железо общее, мг/дм ³	0,19	термотолерантные бактерии, КОЕ/100 мл	отсутствие
медь, мг/дм ³	0,02	общие колиформные бактерии, КОЕ/100 мл	отсутствие
марганец, мг/дм ³	0,008		

а также зубчатого и полигонального очертания. Встречаются зерна кварца с поверхностными примазками железа и чистые прозрачные зерна с внутренними включениями железа, сростки кварца с темноцветными минералами.

Проведено фракционирование материала пробы песков в растворах тяжелых жидкостей (М-45 и бромформе) по плотности. Легкая фракция песков представлена кварцем и полевыми шпатами. В тяжелой фракции концентрируются ильменит, циркон, слюда, дистен, рутил, турмалин, ставролит, в том числе слабо- (гематит, мартит) и немагнитные (сидерит, гетит, лимонит) минералы железа.

В песках содержится 97,07 % SiO₂, 0,34 % Fe₂O₃, 1,06 % Al₂O₃, 0,09 % TiO₂, 0,007 % Cr₂O₇, 0,31 % CaO, 0,27 % MgO, 0,03 % MnO, 0,14 % K₂O, 0,07 % Na₂O, 0,09 % SO₃, 0,52 % п.п.п. Спектральным анализом установлено присутствие небольших количеств меди и свинца.

Минералы железа и кварц могут быть селективно разделены флотацией с использованием нетоксичных оксигидрильных собирателей анионного типа, эффективность применения которых для обогащения стекольных кварцевых песков исследована на основе флотации мономинералов, выделенных из песков месторождения Ивановское-2.

Опыты по флотации мономинералов выполнены в аппарате для беспенной флотации (трубке Халлимонда объемом 150 см³); приведенная скорость подачи воздуха – 1,76 см/с, объемный расход воздуха – 0,014 см³/с (режим истечения воздуха в аппарат – квазистатический), диаметр отрывающихся от капилляра пузырьков – 0,97 мм (рассчитан из условия равновесия подъемной силы пузырька и силы, удерживающей пузырек на отверстии). Флотацию выполняли в водопроводной воде (табл. 2).

Исследована флотируемость гематита (в виде двух разновидностей – спекулярита (железного блеска) с хорошо выраженными кристаллами, имеющими металлический блеск, и

массивного, плотного красного железняка), сидерита и кварца крупностью (-0,315+0,100) мм с удельной поверхностью соответственно, см²/г: 4 734, 2 777 и 21 141. В качестве собирателя использовали олеиновую кислоту, полученную из смеси кориандрового и рапсового масла марки «Олеин Б». Олеиновую кислоту применяли в виде раствора (из расчета 100 г/т) в керосине (марки ТС1) в соотношении 1:1. Для создания pH использовали кальцинированную соду в сочетании с известью. Установлено (рис. 1), что

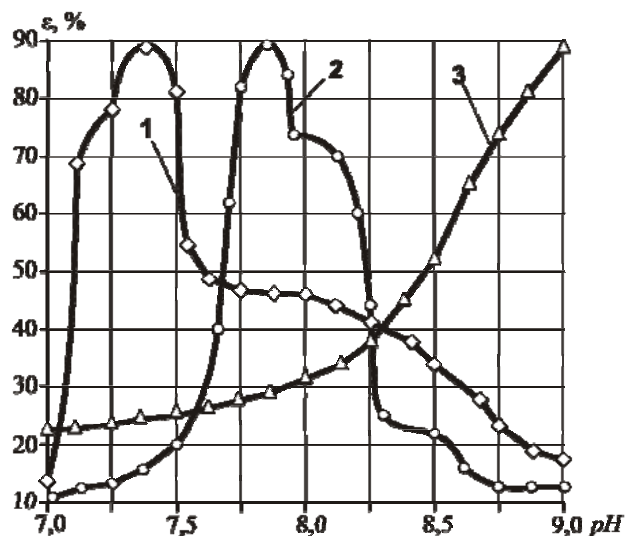


Рис. 1. Флотация гематита (1), сидерита (2) и кварца (3) олеиновой кислотой при разных значениях pH

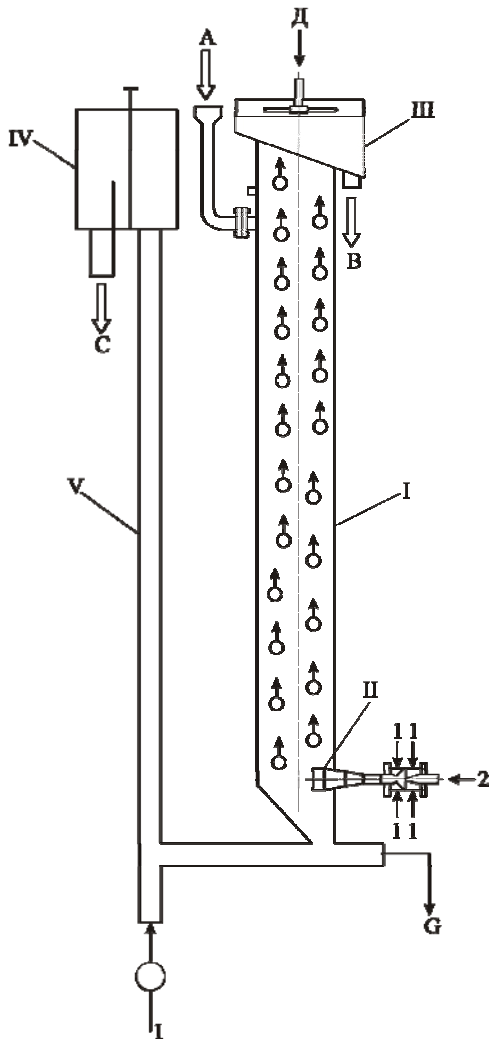


Рис. 2. Схема колонной флотомашины I, II – колонна с эжектором; III, IV – желоба для пенного и камерного продуктов; V – эрлифт 1,2 – подача воздуха и пара
Подача исходного питания (A), разгрузка пенного (B) и камерного (C) продуктов, промывная вода (D) и дренаж (G)

минералы железа и кварц могут быть разделены флотацией при значении pH ~ 9,5.

Исследования по обезжелезнению песков проведены с применением лабораторной колонной флотомашины противоточного типа (рис. 2) производства ООО «НПП ГЕОС». Колонная флотомашина имеет высоту 7,4 м и диаметр 0,3 м, глубину подачи питания – 1,4 м, высоту зоны минерализации – 6 м [Паньшин А.М., Евдокимов С.И. Усовершенствование процесса цинковой флотации с использованием теплового кондиционирования пульпы // Обогащение руд. 2009. № 1. С. 29–34]. Отличительной особенностью конструкции колонны является то, что аэрация осуществляется смесью воздуха с теплоносителем – горячим (> 100 °С) насыщенным водяным паром.

При флотации пузырьками, заполненными насыщенным водяным паром, вследствие контакта жидкости и пара начинается конденсация. Температура T_S на границе, по которой произошло соприкосновение двух сред, определяется их теплофизическими свойствами [2–4]:

$$T_S = T_1 + k \frac{(T_1 - T_2)}{1 + k}, \quad (1)$$

где индекс «1» относится к горячему (пар), а «2» – к холодному (жидкость) теплоносителю. Здесь

$$k = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \sqrt{\frac{a_2}{a_1}} = \sqrt{\frac{\lambda_1 c_{p1} \rho_1}{\lambda_2 c_{p2} \rho_2}}$$

(где λ , a , ρ , c_p – коэффициенты теплопроводности, кг·м/(К·с³), и температуропроводности, кг/(м·с²); плотность, кг/м³, и теплоемкость при постоянном давлении, м²/(К·с²).

Радиус пузырька r (м)

$$r(x, T_1) = \left(\frac{3 V_1 [P_1(x, T_1)]}{4 \pi} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

связан с параметрами пара в пузырьке (V_1 – объем пузырька пара, м³; p_1 – давление пара в пузырьке, Па; T_1 – температура пара в пузырьке, К; x – координата, м) уравнением состояния идеального газа Менделеева-Клапейрона

$$p_1 V_1 = \frac{m_1}{M_1} R T_1 \quad (3)$$

(R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); m_1 – масса пара в пузырьке, кг; M_1 – молярная масса, кг/моль; $p_1 = p_0 + \rho_2 g (h_0 - x)$ – давление пара в пузырьке, где p_0 – давление над поверхностью жидкости; $\rho_2 g (h_0 - x)$ – давление столба h_0 (м) жидкости плотностью ρ_2 (кг/м³); g – ускорение свободного падения, м/с²).

Уравнение конвективного теплообмена между паром в пузырьке и жидкостью

$$\frac{dT_1}{dt} = \frac{3 \alpha}{c_1 r(x, T_1) \rho_1(x, T_1)} (T_1 - T_2) \quad (4)$$

(α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); c_1 – коэффициент теплоемкости пара, м²/(К·с²); t – время, с) получено из закона Ньютона-Рихмана

$$dQ = \alpha (T_1 - T_2) F dt = m_1 c_1 dT_1, \quad (5)$$

где dQ – количество переданной энергии (Дж) за время dt через поверхность теплообмена площадью F (м²).

Согласно (3), плотность пара ρ_1 выражается

как функция координаты x и температуры T_1 :

$$\rho_1(x, T_1) = \frac{m}{V_1} = \frac{p_1(x)}{R T_1}, \quad (6)$$

а размер пузырька r связан с объемом V_1 выражением

$$r(x, T_1) = \sqrt[3]{\frac{3 V_1 [p_1(x, T_1)]}{4 \pi}}. \quad (7)$$

Для численного решения уравнение (5) запишем в форме:

$$\frac{dT_1}{dt} = \frac{3\alpha}{c_1 r(x, T_1) \rho_1(x, T_1)} (T_1 - T_2). \quad (8)$$

Из результатов расчетов (рис. 3) следует, что температура пара в пузырьках достигает своего равновесного состояния в течение $\sim 10^{-3}$ с.

Время контакта частиц и пузырьков флотационных размеров τ_k в условиях промышленного процесса составляет первые десятки миллисекунд, т. е. при условии $\tau_k < \tau_{инд}$ ($\tau_{инд}$ – минимально необходимое время для прилипания частицы к пузырьку с образованием конечного краевого угла смачивания – время индукции) частица не закрепляется на поверхности пузырька.

В начальный момент времени размер пузырька уменьшается за счет конденсации пара с переносом тепла в граничный слой пузырька и образованием пленки конденсата [5–7]. При критической толщине пленки теплообмен между паром и жидкостью ухудшается, и тепло конденсации не уходит полностью в жидкость [8–11]. Пар перегревается (конденсация сменя-

ется испарением), давление в пузырьке повышается, соответственно которому увеличивается размер пузырька. Слой теплой жидкости в граничном слое растущего пузырька, смешиваясь с недогретой жидкостью, утоньшается, неоднородность температуры в нем уменьшается, и процесс конденсации возобновляется – пузырек совершает затухающие колебания [12–14]. Движущей силой процесса колебаний является существенное различие в теплопроводности жидкости и ее пара (способности подводить и отводить тепло), а градиент температуры в граничном слое пузырька имеет подчиненное значение.

Для оценки времени полной конденсации пара в пузырьках t_k экспериментально апробированную зависимость изменения радиуса пузырька от времени [10, 11]:

$$\frac{r(t)}{r} = \left[1 - \frac{6}{\sqrt{\pi}} Ja \times Pe^{1/2} \times Fo \right]^{2/3}, \quad (9)$$

(где

$$Ja = \frac{c_p \rho_2 \Delta T}{\rho_1 r_k}$$

– критерий Якоба (c_p – теплоемкость при постоянном давлении холодного теплоносителя, Дж/(кг·К); ΔT – разность температур горячего и холодного теплоносителей, К; r_k – удельная теплота конденсации, Дж/кг);

$$Pe = \frac{2 \omega r}{a} = \frac{c_p \rho_2 \omega r}{\lambda_2}$$

– критерий Пекле (ω – скорость потока жидкости относительно поверхности теплообмена с начальным размером r_0 , м/с; λ_2 – коэффициент теплопроводности холодного теплоносителя, кг·м/(К·с³); a – коэффициент температуропроводности холодного теплоносителя, м²/с);

$$Fo = \frac{a t_k}{4 r^2}$$

– критерий Фурье) приведем к выражению, соответствующему предельному случаю схлопывания пузырька от максимального размера до нуля

$$\left[1 - \frac{6}{\sqrt{\pi}} Ja \times Pe^{1/2} \times Fo \right]^{2/3} \Rightarrow \Rightarrow \frac{6}{\sqrt{\pi}} Ja \times Pe^{1/2} \times Fo = 1, \quad (10)$$

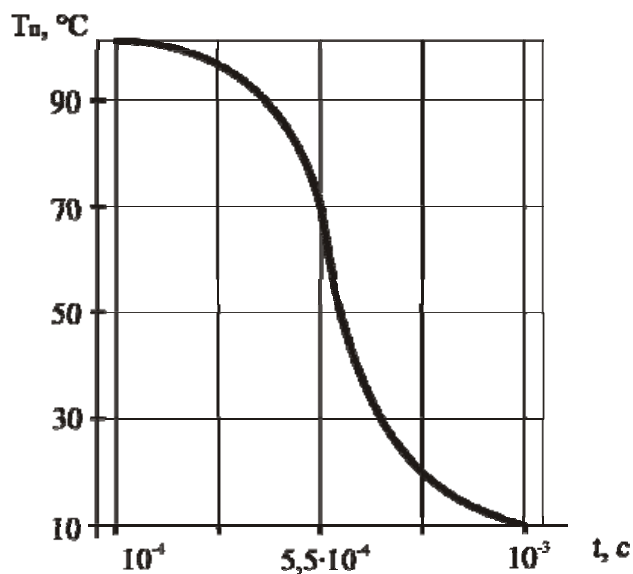


Рис. 3. Температура граничного слоя пузырька пара в недогретой жидкости как функция времени

подставим в него значения критериев в развернутом виде

$$\frac{36}{\pi} J a^2 \times P e \times F o^2 = \dots$$

$$= \frac{36 (C_p \rho_2 \Delta T)^2 2 \omega r (a t)^2}{16 \pi (\rho_1 r_k)^2 a r^4} = 1 \quad (11)$$

и получим выражение для расчета времени, необходимого для полной конденсации пара в пузырьках

$$t_k = \left[\frac{4 \pi (\rho_1 r_k)^2 r^3}{9 (C_p \rho_2 \Delta T)^2 2 \omega} \right]^{1/2} \quad (12)$$

Для пузырьков размером $r = 0,6 \times 10^{-3}$ м, всплывающих со скоростью $\omega = 16,7 \times 10^{-2}$ м/с, время выравнивания температуры пара в пузырьках и окружающей жидкости при теплофизических и режимных параметрах паровоздушной флотации составляет:

$$t_k = \left[\frac{4 \times 3,14 (1,579 \times 10^{-3} \times 2258 \times 10^3) \times (0,6 \times 10^{-3})^3}{9 (4,182 \times 10^3 \times 998,2 \times 87)^2 \times 2 \times 16,7 \times 10^{-2} \times 1,44 \times 10^{-7}} \right]^{1/2} =$$

$$= 1,9 \times 10^{-2} \text{ с}$$

При наличии теплообмена между фазами время t_k , необходимое для полной конденсации пара, может быть определено также из соотношения

$$t_k = \frac{r^2}{a_1^{(T)}} \quad (13)$$

(где

$$a_1^{(T)} = \frac{\lambda_1}{\rho_1 c_1} = \frac{2,48 \times 10^{-2}}{0,592 \times 2034,0} = 2,06 \times 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$$

– коэффициент температуропроводности пара; $\lambda_1 = 2,48 \times 10^{-2}$ кг·м/К·сек³ – коэффициент теплопроводности; $c_1 = 2034,0$ м²/К·сек² – коэффициент теплоемкости при постоянном давлении; $\rho_1 = 0,592$ кг/м³ – плотность насыщенного пара). Расчет

$$t_k = \frac{(0,6 \times 10^{-3})^2}{2,06 \times 10^{-5}} = 1,7 \times 10^{-2} \text{ с}$$

по (12) дает близкий результат к (13).

Из (11) следует, что:

$$\frac{6 a (c_p \rho_2 \Delta T)^2 \omega \times t}{(\rho_1 r)^2} = \frac{4}{3} \pi \frac{r^3}{t} = \frac{V}{t} \quad (14)$$

Значение скорости конденсации пара определим

$$\frac{dV}{dt} = -20,57 \quad (15)$$

продифференцировав по времени зависимость объема пузырька пара V от времени нахождения его t в холодной воде

$$V = 163,96 - 20,57 \times t \quad (16)$$

полученную прямой аппроксимацией результатов исследования (где t изменяется от 0 до 8 мкс) [5, 14, 15]. Тогда среднее расстояние, пройденное пузырьком до полной конденсации пара ωt при его сопряженном тепломассообмене с холодной водой, составит:

$$\frac{6 \times 1,44 \times 10^{-7} (4,182 \times 10^3 \times 998 \times 87)^2 \omega \times t}{(1,579 \times 10^{-3} \times 2258 \times 10^3)^2} =$$

$$= -20,57 \rightarrow \omega \times t = 2,3 \times 10^{-3} \text{ м}$$

что близко к результату $\omega t = 16,7 \times 10^{-2} \times 1,7 \times 10^{-2} = 2,8 \times 10^{-3}$ м.

Из результатов расчетов по (1), (10), (11) и (15) следует, что к моменту контакта частицы с пузырьком температура на поверхности пузырька T_s отличается от температуры жидкости в объеме T_0 на 10–15 °С и составляет 15–20 % от их начальной разности. Таким образом, доказана возможность изменения результатов флотации за счет нагрева граничного слоя пузырьков конденсирующимся водяным паром в условиях, моделирующих промышленный пенно-агитационный процесс. Силовым фактором, обеспечивающим изменение устойчивости смачивающих пленок при повышении температуры, являются «не-ДЛФО»-силы [16] (структурные силы гидрофобного притяжения и гидрофильного отталкивания [17–19], входящие в суммарную изотерму расклинивающего давления. Рост дальности действия

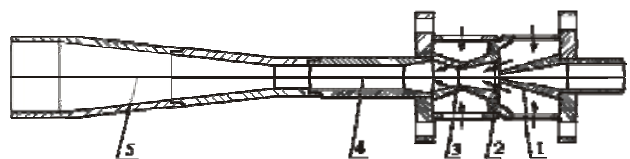


Рис. 3. Схема эжектора

1 – рабочее воздушное сопло; 2, 3 – две ступени инжекции воздуха; 4, 5 – конфузор и диффузор

сил притяжения связан с выделением на гидрофобных поверхностях нанопузырьков газа, растворенного в воде, и их коалесценцией с пузырьком пара [20–25].

Для диспергации в объеме колонны составной паровоздушной струи (спутных потоков воздуха и водяного пара) на пузырьки разработан эжектор, снабженный парогенератором.

Применен новый способ снижения технологической неоднородности извлекаемых минералов при смешении продуктов во флотационном каскаде: разделив исходное питание на две струи, из $\frac{1}{2}$ его части выделяют черновой концентрат I струи флотации, смешивают его с другой $\frac{1}{2}$ частью питания и выделяют готовый концентрат II струи флотации. Струйный принцип смешения продуктов обеспечивает высокое содержание минералов железа за счет наиболее флотационно активного его морфотипа, что является причиной высокого извлечения.

В табл. приведены результаты извлечения оксида железа из кварцевого песка двумя способами флотации.

Во флотацию подавали соду (2,33 кг/т), жидкое стекло (0,560 кг/т) и сырое талловое масло (1,05 кг/т); при струйной флотации расход сырого таллового масла снижали на 10 %, при струйной паровоздушной флотации – на 15 %.

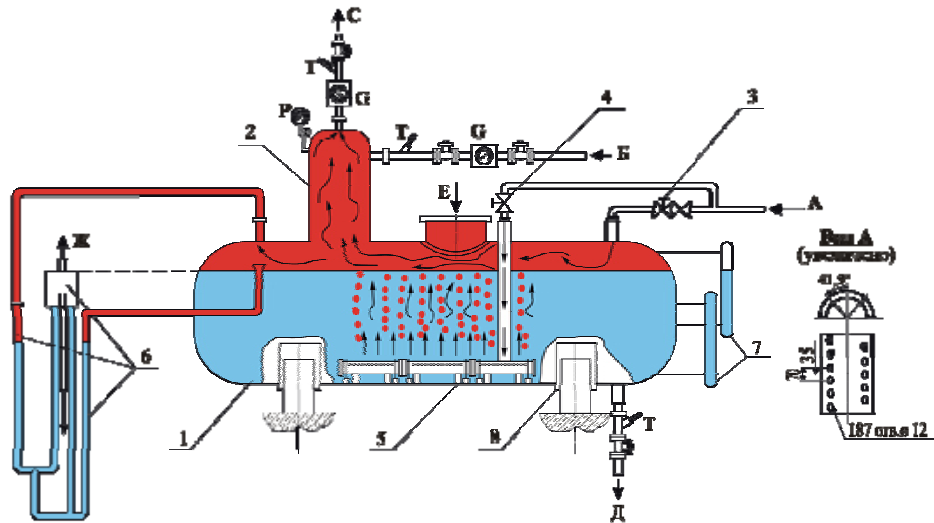


Рис. 4. Принципиальная схема парогенератора:

1 – емкость для воды; 2 – смеситель пара и воды; 3, 4 – подвод соответственно основного и барботажного пара; 5, 6 – барботажное и предохранительно-сливное устройства; 7 – устройство для измерения уровня воды в емкости; 8 – опоры; А, Б – подвод греющего пара и воздуха; С – отвод паровоздушной смеси; Д – дренаж; Е – подвод воды; G, P, T – измерения соответственно расхода, давления и температуры

Таблица

Результаты обезжелезнения кварцевого песка методом флотации

Наименование продукта	Выход продукта, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	SiO ₂
Колонная флотация					
Пенный (железосодержащий) продукт	11,56	2,54	83,79	86,21	10,01
Камерный продукт (обезжелезненные пески)	88,44	0,053	98,47	13,79	89,99
Исходный песок	100,0	0,34	96,77	100,0	100,0
Струйная колонная флотация					
Пенный (железосодержащий) продукт	9,80	2,96	80,23	87,97	8,11
Камерный продукт (обезжелезненные пески)	90,20	0,044	98,77	12,03	91,89
Исходный песок	100,0	0,33	96,95	100,0	100,0
Струйная колонная паровоздушная флотация					
Пенный (железосодержащий) продукт	7,82	4,03	73,98	92,68	5,96
Камерный продукт (обезжелезненные пески)	92,18	0,027	99,03	7,32	94,04
Исходный песок	100,0	0,34	97,07	100,0	100,0

ВЫВОДЫ:

1. При флотации оксида железа из стекольного кварцевого песка анионным собирателем в присутствии соды и жидкого стекла содержание Fe_2O_3 в песке уменьшается с 0,34 до 0,053 %.

2. Разработан способ построения конфигурации схемы флотации, в соответствии с которым исходные пески делят на два потока (струи) и пенный продукт первой струи направляют в исходное питание второй струи. Показано, что применение струйной схемы флотации позволяет уменьшить содержание Fe_2O_3 в песке с 0,33 до 0,034 %.

3. Разработан способ флотации, отличительной особенностью которого является использование в качестве газовой фазы смеси воздуха с горячим (> 100 °С) водяного пара. Показано, что применение технологии струйной паровоздушной колонной флотации для обезжелезнения стекольных кварцевых песков, содержащих 0,34 % Fe_2O_3 , позволяет получать пески марки ВС-030-В (массовая доля оксида кремния SiO_2 не менее 98,5 %, оксида железа Fe_2O_3 не более 0,03 %, оксида алюминия Al_2O_3 не более 0,6 %). Расход греющего пара при использовании технологии паровоздушной флотации составляет 1,79 кг/т песка ($9,7 \times 10^{-4}$ Гкал/т песка).

тельной особенностью которого является использование в качестве газовой фазы смеси воздуха с горячим (> 100 °С) водяного пара. Показано, что применение технологии струйной паровоздушной колонной флотации для обезжелезнения стекольных кварцевых песков, содержащих 0,34 % Fe_2O_3 , позволяет получать пески марки ВС-030-В (массовая доля оксида кремния SiO_2 не менее 98,5 %, оксида железа Fe_2O_3 не более 0,03 %, оксида алюминия Al_2O_3 не более 0,6 %). Расход греющего пара при использовании технологии паровоздушной флотации составляет 1,79 кг/т песка ($9,7 \times 10^{-4}$ Гкал/т песка).

ЛИТЕРАТУРА

1. Тихонов О.Н. Теория разделения минералов. – Санкт-Петербурга: Изд-во Санкт-Петербургского горного института им. Г.В. Плеханова, 2008. 514 с.
2. Ненаездников А.Ю. Повышение эффективности атмосферных деаэрационных установок с барабанными устройствами / Дисс. ... канд. техн. наук. Иваново. Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2014.
3. Вавилов С.Н., Жатухин А.В., Киреева А.Н. Исследование контакта холодного теплоносителя с перегретой поверхностью // Тепловые процессы в технике. 2011. № 3. С. 118–121.
4. Барочкин Е.В., Жуков В.П., Ненаездников А.Ю., Беляков А.Н., Росляков А.Н. Оптимальное управление межфазной поверхностью в барботажной ступени атмосферных деаэраторов // Вестник ИГЭУ. 2012. Вып. 4. С. 1–5.
5. Королев А.В. Особенности скачка давления в пароводяных инжекторах // Энергетика: Изв. высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2009. № 6. С. 31–36.
6. Евдокимов С.И., Дациев М.С., Подковыров И.Ю. Разработка новой схемы и способа флотации руд Олимпиадинского месторождения // Изв. вузов. Цветная металлургия. 2014. № 1. С. 3–11.
7. Simpson H.C. Collapse of steam bubbles in sub-cooled water / H.C. Simpson, G.C. Beggs, O.M. Isikan // European Two-Phase Flow Group Meeting/ Session A. – Rome, June, 1984. P. 1919–1924.
8. Жуков В.П., Барочкин Е.В., Ненаездников А.Ю., Беляков А.Н., Росляков А.Н. Эволюция межфазной поверхности теплообмена в барботируемом слое // Вестник ИГЭУ. 2012. Вып. 4. С. 1–5.
9. Петушков В.А., Мельситов А.Н. Двухфазное парожидкостное течение в переходных режимах // Математическое моделирование. 2003. Т. 15. № 10. С. 109–128.
10. Мельситов А.Н., Петушков В.А. Высокоскоростная динамика двухфазной газожидкостной среды с теплообменом между фазами // Математическое моделирование. 2000. Т. 12. № 12. С. 35–54.
11. Масикевич А.Ю., Райко В.Ф., Шапиро В.П., Лопухина О.А. О формировании барботажного слоя при кипении недогретой жидкости и динамика паровых пузырей // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2005. № 1/2 (13). С. 107–110.
12. Клименко Л.С. Генерация течения и поведение частицы около пузырька в колеблющейся жидкости / Автореферат дисс. ... канд. физико-математических наук. – Пермь: ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2011. 15 с.
13. Лепихин С.А. Волновые течения пузырьковой жидкости в каналах переменного сечения / Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. – Тюмень: Тюменский государственный университет, 2007. 20 с.
14. Логонов В.С., Озерова И.П. Оценка нестационарной теплоотдачи при пленочной конденсации пара на вертикальной стенке // Известия Томского технологического университета. 2003. Т. 306. № 6. С. 67–69.
15. Ястребов А.К. Конденсация пара при внезапном контакте с холодной жидкостью в существенно неравновесных условиях // Тепловые процессы в технике. 2009. Т. 1. № 12. С. 519–522.
16. Бойнович Л.Б. Дальнодействующие поверхностные силы и их роль в развитии нанотехнологии // Успехи химии. 2007. Т. 76. № 5. С. 510–528.
17. Евдокимов С.И., Паньшин А.М. Поверхностные силы в процессах агрегации и флотации частиц // Изв. вузов. Цветная металлургия. 2009. № 3. С. 7–11.
18. Паньшин А.М., Евдокимов С.И., Артемов С.В. Исследования в области флотации паровоздушной смесью // Изв. вузов. Цветная металлургия. 2012. № 1. С. 3–10.
19. Чураев Н.В. Поверхностные силы и физикохимия поверхностных явлений // Успехи химии. 2004. Т. 73. № 1. С. 26–38.
20. Nataliya A. Mishchuk. The model of hydrophobic attraction in the framework of classical DLVO forces // Advances in colloid and Interface Science. Vol. 168, Issues 1–2, 14 October 2011, p. 149–166.
21. L. Pan, S. Jung, R.-H. Yoon. Effect of hydrophobicity on the stability of the wetting films of water formed on gold surfaces // Journal of Colloid and Interface Science. Vol. 361, Issue 1, 1 September 2011, p. 321–330.
22. Adam Cohen Simonsen, Per Lyngs Hansen, and Beate Klosgen. Nanobubbles give evidence of incomplete wetting at a hydrophobic interface // Journal of Colloid and Interface Science 273 (2004), p. 291–299.
23. M. A. Hampton, A. V. Nguyen. Nanobubbles and the nanobubble bridging capillary force // Advances in colloid and Interface Science. Vol. 154, Issues 1–2, 26 February 2010, p. 30–55.

24. **Krassimir D. Danov, Peter A. Kralchevsky.** Capillary forces between particles at a liquid interface: General theoretical approach and interactions between capillary // *Advances in Colloid and Interface Science*. Vol. 154, Issue 1-2, 26 February 2010, p. 91–103.

25. **Jialin wang, Roe-Hoan Yoon, John Morris.** AFM surface measurements conducted between gold surface treated in xanthate solutions // *International Journal of Mineral Processing*. Vol. 122, 10 July 2013, p. 13–21.

A NEW TECHNOLOGY OF EXTRACTION IRON OXIDE FROM GLASS SILICA SAND

S.I. Evdokimov*, V.S. Evdokimov**

* Candidate of technical sciences, associate Professor of «Mineral processing» North-Caucasian mining and metallurgical Institute (state technological University), Vladikavkaz. (eva-ser@mail.ru).

** Bachelor of LLC «Scientific-production enterprise GEOS», Department of «Mineral processing» North-Caucasian mining and metallurgical Institute (state technological University), Vladikavkaz. (19-Vadik-93@mail.ru).

Abstract. The object of research is glass quartz sands containing 97,07 % SiO_2 , 0,34 % Fe_2O_3 , 1,06 % Al_2O_3 , 0,09 % TiO_2 , 0,007 % Cr_2O_3 , 0,31 % CaO , 0,27 % MgO , 0,03 % MnO , 0,14 % K_2O , 0,07 % Na_2O , 0,09 % SO_3 , 0,52 % loi . In the sands dominated by grain size fraction (-0,315 + 0,100) mm, the output of which is 79,64 %; yield fines (particle size < 0,100 mm), minerals including clay does not exceed 12 %.

Deironing sands used for flotation process steam mixture on a «two-jet»: ½ part of the sands emit foam product I jet flotation and mixed with the other ½ of the sand – II jet flotation. A distinctive feature of the flotation stream II is used as the gas phase of the mixture with hot air (> 100 °C) steam. This allows sands mark HS-030-B (mass fraction of silicon oxide SiO_2 is not less than 98,5 % of iron oxide Fe_2O_3 is not more than 0,03 % of aluminum oxide Al_2O_3 is not more than 0,6 %). Heating steam consumption by using the technology of steam-air flotation is 1,79 kg / tonne of sand ($9,7 \cdot 10^{-4}$ Gcal / tonne of sand).

Keywords: glass industry, quartz sand, extraction of iron oxide, flotation, jet flotation circuit, a flotation mixture of steam and air.

