

Численное интегрирование системы (12) проведено методом Рунге-Кутты 4-го порядка в среде пакета прикладных программ MATLAB (программа SLPR) для следующих исходных данных: нагрузка $R = 6000$ Н; эффективные площади гидроцилиндра $F_1 = 0,00377$ м², $F_2 = 0,0045$ м² (диаметр поршня 80 мм, диаметры штоков 40 и 25 мм); ход поршня $H = 250$ мм; давление насосной станции $p_n = 6,3 \cdot 10^5$ Па; давление на сливе $p_c = 0$; модуль упругости рабочей жидкости $E_{ж} = 10^9$ Па; «мертвые» объемы напорной и сливной магистралей $W_{HO} = W_{CO} = 0,002$ м³; сила сухого трения $R_{ст} = 0$; жесткость позиционной нагрузки $c = 0$; коэффициент силы вязкого трения $k_t = 1000$ кг/с; приведенная масса подвижных частей $m = 200$ кг; коэффициент передачи ДОС $k_{oc} = 216$ В/м; номинальный расход ЭГУ $Q_{ном} = 0,00063$ м³/с; номинальный перепад давлений на ЭГУ $\Delta p_{ном} = 7 \cdot 10^6$ Па; постоянные времени ЭГУ $T_{1y} = 0,0215$ с, $T_{2y} = 0,0053$ с (что соответствует сдвигу по фазе на -45° и 90° при частотах $\nu_1 = 45$ Гц и $\nu_1 = 90$ Гц); величина безразмерного перекрытия $\bar{h} = 0,01$; индуктивность обмотки управления $L_y = 0,2$ Гц; активное сопротивление электрической цепи $R_3 = 100$ Ом; номинальный ток $i_{ном} = 0,01$ А; коэффициент усиления ЭБ $k_{yc} = 0,09$; масштаб расходов $Q^* = 0,0006$ м³/с.

Выводы. Таким образом, предложена типовая нелинейная математическая модель электрогидравлического следящего привода с дроссельным регулированием. Математическая модель адаптирована на приводы специального технологического оборудования, построенные на основе стандартных модулей, и позволяет производить оценку устойчивости, качества

регулирования и коррекцию динамических свойств привода с использованием паспортных данных входящих устройств.

Список литературы: 1. Попов, Д. Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем [Текст] / Д. Н. Попов. – М.: Машиностроение, 1976. – 424 с. 2. Хохлов, В. А. Электрогидравлический следящий привод [Текст] / В. А. Хохлов. – М.: Наука, 1964. – 239 с. 3. Чупраков, Ю. И. Электрогидравлические следящие приводы [Текст] / Ю. И. Чупраков. – М.: МАДИ, 1977. – 88 с. 4. Терских, В. З. Сравнительный анализ динамических свойств дроссельных гидроприводов [Текст] / В. З. Терских. – Изд. вузов. Машиностроение, 1976. – No7. – С. 59–62. 5. Абрамов, Е. И. Элементы гидропривода [Текст] : справочник / Е. И. Абрамов, К. А. Колесниченко, В. Т. Маслов. – К.: «Техника», 1977. – 320 с. 6. Чупраков, Ю. И. Электрогидравлические усилители [Текст] / Ю. И. Чупраков. – М.: МАДИ, 1975. – 124 с. 7. Свеишников, В. К. Станочные гидроприводы [Текст] : справочник / В. К. Свеишников, А. А. Усов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1988. – 512 с. 8. Прокофьев, В. Н. Динамика гидропривода [Текст] / В. Н. Прокофьев. – М.: Машиностроение, 1972. – 287 с. 9. Навроцкий, К. Л. Теория и проектирование гидро- и пневмоприводов [Текст] / К. Л. Навроцкий. – М.: Машиностроение, 1991. – 384 с. 10. Попов, Д. Н. Оценка эффективности и оптимальное проектирование гидроприводов [Текст] / Д. Н. Попов // Вестник машиностроения. – 1986. – No 9. – С. 20–23.

Bibliography (transliterated): 1. Popov, D. N. (1976). Dinamika i regulirovanie gidro- i pnevmosistem. Moscow: Mashinostroenie, 424. 2. Hohlov, V. A. (1964). Jelektrogidravlicheskiy sledjashhij privod. Moscow: Nauka, 239. 3. Chuprakov, Yu. I. (1977). Elektrogidravlicheskie sledyaschie privodyi. Moscow: MADI, 88. 4. Terskih, V. Z. (1976). Sravnitelnyiy analiz dinamicheskikh svoystv drosselnyih gidroprivodov. Izd. vuzov. Mashinostroenie, No7, 59–62. 5. Abramov, E. I. (1977). Elementyi gidroprivoda : spravochnik. Kyiv: «Tehnika», 320. 6. Chuprakov, Yu. I. (1975). Elektrogidravlicheskie usiliteli. Moscow: MADI, 124. 7. Sveshnikov, V. K. (1988). Stanochnyie gidroprivodyi: spravochnik. 2-e izd., pererab. i dop. Moscow: Mashinostroenie, 512. 8. Prokofev, V. N. (1972). Dinamika gidroprivoda. Moscow: Mashinostroenie, 287. 9. Navrotskyi, K. L. (1991). Teoriya i projektirovanie gidro- i pnevmopriwodov. Moscow: Mashinostroenie, 384. 10. Popov, D. N. (1986). Otsenka effektivnosti i optimalnoe projektirovanie gidroprivodov. Vestnik mashinostroeniya, No 9, 20–23.

Поступила (received) 13.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Таванюк Тетяна Яківна – кандидат технічних наук, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, доцент кафедри «Машинобудування, верстати та інструменти»; пр. Радянський, 59-а, м Северодонецьк, Україна, 93400; тел.: 050-695-99-75; e-mail: ttavanyuk@gmail.com.

Таванюк Тат'яна Яковлевна – кандидат технічних наук, Восточноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, доцент кафедри «Машиностроєння, станки та інструменти»; пр. Советський, 59-а, г. Северодонецьк, Луганська область, Україна, 93400; тел.: 050-695-99-75; e-mail: ttavanyuk@gmail.com.

Tavanyuk Tatyana – candidate of technical sciences, Eastukrainian National University of Volodymyr Dahl, assistant professor of department of Machine building, machine tools and instruments; pr. Sovtskyu, 59, Severodonetsk, Ukraine, 93400; tel.: 050-695-99-75; e-mail: ttavanyuk@gmail.com.

УДК 519.876.5:622.778

В. О. МИЩЕНКО, В. И. ОЛЕВСКИЙ, Ю. Б. ОЛЕВСКАЯ

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОБОГАЩЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ДЕШЛАМАЦИИ МАГНЕТИТА

Статья посвящена математическому моделированию процесса магнитной дешламации магнетита с целью автоматизации технологического процесса. Разработаны модели двухфазного ламинарного осесимметричного течения и двухфазного трехмерного вихревого течения на основе программного комплекса SolidWorks компании Dassault Systemes SolidWorks Corporation. Проведен численный расчет моделей, исследованы зависимости качества обогащения от параметров дешламации. Эти модели позволяют подбирать интенсивные технологические режимы и оптимальные параметры обогатительного оборудования. Они могут быть использованы непосредственно в системе автоматического управления технологическим процессом обогащения.

Ключевые слова: автоматизация, математическая модель, магнитная дешламация, обогащение магнетита.

© В. О. Мищенко, В. И. Олевский, Ю. Б. Олевская. 2015

Введение. В настоящее время актуальна задача увеличения добычи сырья при экономии энергоресурсов и материалов с использованием автоматизированного управления технологическим процессом обогащения железорудного концентрата. Особое место в подготовке сырья занимает процесс магнитной дешламации - операция тонкого отделения шламов и сгущения слива [1]. Этот сложный процесс, на который влияет целый ряд факторов, и в первую очередь – гидродинамические характеристики движения пульпы, требует автоматизации ради его интенсификации. Это, однако, невозможно без математического моделирования, которое позволяет обоснованно выбирать интенсивные технологические режимы и оптимальные параметры конструкции дешламатора.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Изучение влияния разных факторов на процесс обогащения ранее проводился путем решения упрощенных уравнений механики сплошной среды для простых областей и граничных условий [2, 3]. Решалась задача определения скорости осаждения частиц в среде или скорости изменения плотности пульпы по заданным размерам и плотности частиц, вязкости и плотности среды [3-5]. Первые формулы в этой области (для частицы шарообразной формы) получили Стокс и Ретингер, а позднее Релей получил зависимость коэффициента сопротивления от числа Рейнольдса [4]. В работе И.С. Павлушенко [6] было получено уравнение, которое учитывает влияние равнодействующей силы тяжести и архимедовой силы, а силы внутреннего давления отсутствуют, поскольку их влияние считается пренебрежимо малым. Формула равенства веса тела в среде и силы сопротивления трения вязкой среды для ламинарного режима движения жидкости была приведена к уравнению относительно критериев Архимеда Ar и Лященко L_y [4]. Для переходной области выводится формула Аллена из равенства веса тела в среде и подъемной силы потока [7], а для турбулентного режима движения подходит формула Ньютона-Реттингера, учитывающая равенство веса тела и силы сопротивления среды. Обсуждаемые уравнения сводятся [7] к виду

$$L_y = c \cdot Ar^m. \quad (1)$$

Существующие модели обогащения описывают процесс дешламации приближенно, качественно. Эти модели, преимущественно одномерные, практически не учитывают конструктивных особенностей конкретных аппаратов и реальных условий обогащения. Они описывают движение твердых частиц, не затрагивая обобщенных характеристик технологического процесса, необходимых для его автоматизации.

Цель и задачи исследования. Целью исследования является создание многофакторных математических моделей, пригодных для использования в системах автоматического управления процессом дешламации.

Для этого следует моделировать движение двухфазной среды с учетом формы дешламатора и технологических параметров процесса обогащения; создать на этой основе метод получения зависимостей параметров качества обогащения от технологических и конструктивных факторов.

Методы моделирования дешламации магнетита. Методической основой моделирования служат аналитический расчет полей скоростей жидкости в чане дешламатора при осесимметричном двумерном движении, численный метод расчёта трехмерного вихревого движения двухфазной среды при дешламации, его реализация методом сеток и настройкой комплекса SolidWorks EDU Edition Network и, в итоге, проведение многофакторного имитированного численного эксперимента.

Объект исследования - это процесс дешламации магнетита.

Предмет исследования – математические модели зависимости качества дешламации от параметров конструкции и технологического процесса.

При расчете движения жидкости и руды в чане дешламатора форма частиц учитывается только при нахождении коэффициента сопротивления. Предполагается, что в чане не происходит дробление частиц, а коагуляция железа происходит вблизи отверстия для выгрузки песков. В общем случае траектория частицы, обладающей инерцией, не совпадает с линией тока сплошной фазы. Малости частиц позволяет пренебречь эффектом Магнуса и ориентацией частицы при движении. Вдоль траектории твердой частицы по второму закону Ньютона из условия равновесия сил уравнение движения, деленное на объем частицы $4\pi d^3/3$, имеет вид

$$\begin{aligned} \rho' \frac{d\bar{V}'}{dt} &= \rho' \bar{F} \delta\bar{V} - \frac{\partial \bar{P}}{\partial x} + \frac{\rho}{2} \frac{d}{dt} \delta\bar{V} + \\ &+ \frac{8}{d} \sqrt{\frac{\rho\mu}{\pi}} \int_{t_0}^t \frac{d\delta\bar{V}}{\sqrt{t-\tau}} d\tau + \frac{3\bar{F}_s}{4\pi d^3}, \\ \delta\bar{V} &= \bar{V} - \bar{V}' \end{aligned} \quad (2)$$

где d – диаметр частицы, ρ , ρ' – плотности сплошной фазы и частицы соответственно, \bar{V} , \bar{V}' – векторы скорости сплошной фазы и частицы соответственно, $\bar{F} = \frac{3}{8} C \frac{\rho \delta\bar{V}}{d \rho'}$ – удельная сила сопротивления, $C = C(\text{Re})$ – коэффициент сопротивления, $\text{Re} = \rho |\bar{V} - \bar{V}'| 2d / \mu$ – число Рейнольдса, \bar{P} – вектор давления, μ – вязкость сплошной фазы, \bar{F}_s – вектор сил тяжести.

Три последних слагаемых существенны лишь тогда, когда плотности сплошной среды и частицы близки по величине. Следовательно, исходя из реальной физической картины процесса дешламации, в сформированной задаче достаточно учитывать только две силы: силу тяжести и гидродинамическую силу сопротивления. В результате уравнение примет вид

$$\frac{d\bar{V}'}{dt} = F(\bar{V} - \bar{V}') + \bar{g}. \quad (3)$$

Для определения сопротивления частиц неправильной формы использовался динамический коэффициент формы $K_{\phi} = \left(\frac{\rho}{\rho'} \right)_{\text{Re=idem}}$, $C_{\text{сф}} = 2\mu/\text{Re}$ [8]. При $\text{Re} < 0,05$ для коэффициента формы f

$K_\phi = -(0,843 \lg 0,065 f)^{-1}$. Для $1 < \text{Re} < 10^3$
 $C_{сф} = 24/\text{Re} + 4/(3\sqrt{\text{Re}})$ [8]. При $f = 1,15 \div 1,50$ полу-
 чим $K_\phi = 1,161 \div 1,173$.

Система дифференциальных уравнений движения частицы в проекциях на координатные оси имеет вид

$$\begin{cases} \frac{dv'}{dt} = F(v-v'), & \frac{du'}{dt} = F(u-u') + g, \\ \frac{dw'}{dt} = F(w-w'), & \frac{dx}{dt} = v', \quad \frac{dy}{dt} = u', \quad \frac{dz}{dt} = w' \end{cases} \quad (4)$$

где u, v, w – скорости сплошной фазы, u', v', w' – искомые скорости частицы вдоль осей x, y, z .

Это задача Коши для определения координат перемещения частицы x, y, z и компонентов ее скоростей u', v', w' . Для решения задачи необходимо знать поле скоростей сплошной фазы в чане дещлазатора u, v, w , начальное положение и скорость частицы.

В первом приближении можно ограничиваться рассмотрением осесимметричного движения пульпы, положив $z = w' = 0$. Для моделирования потока жидкости в чане дещлазатора рассмотрим взаимодействие шести стоков: двух линейных стоков с углом $\pi/2$, двух линейных стоков в углах нижнего среза диффузора с углами $2\pi - \beta$, двух стоков к отверстиям шириной D_g и D_n соответственно.

Аналогично строится модель дещлазации для трехмерного вихревого потока жидкости. Для расчета движения жидкости в этом случае необходимо использовать численные методы, например, метод сеток. Расчет удобно производить в среде Flow Simulation пакета SolidWorks [9, 10].

Полученная математическая модель параметрически зависит от начальных и граничных условий. Для того чтобы эта зависимость могла быть использована в автоматизированных системах управления, необходимо произвести ее описание в явном виде. С этой целью можно использовать метод имитационного эксперимента. В этом случае делается предположение о характере распределения исходных параметров в пределах области их определения (как правило, предполагается нормальное распределение), с помощью генерации случайных чисел производится выборка заданной мощности значений параметров и для каждого их значения производится расчет выходных параметров по полученной системе дифференциальных уравнений. Численное определение оценок коэффициентов зависимости производится на основе метода максимума правдоподобия, или другим статистическим методом построения зависимости для определенных соотношений геометрических и технологических факторов.

Рассмотрим, каким образом по построенной модели можно определить требуемые для работы системы автоматического управления технологическим процес-

сом параметры производительности по твердому P , качества песков K и и потерь железа в сливе G [1]. Зависимость между P и объемом питания дещлазатора Q выглядит следующим образом:

$$Q = 10000 P / (K_{TP} K_{II} \rho + (100 - K_{II}) \rho), \quad (5)$$

где K_{TP}, K_{II} – содержание твердого и железа в питании соответственно, ρ_{II}, ρ_{III} – плотность частиц флокул и шламов соответственно.

Для определения K и G получим следующие соотношения:

$$K_{TKI} = 0,5 K_{TP} (\rho_{II} K_{II} (n_{n1} + n_{n2}) + \rho_{III} (1 - K_{II}) (2 - n_{n1} - n_{n2})) / n, \\ K_{TGI} = 0,5 K_{TP} (K_{II} \rho_{II} (2 - n_{n1} - n_{n2}) + (1 - K_{II}) \rho_{III} (n_{u1} + n_{u2})) / n, \quad (6)$$

$$K = \rho_{II} K_{II} (n_{n1} + n_{n2}) / (\rho_{II} K_{II} (n_{n1} + n_{n2}) + \rho_{III} (1 - K_{II}) (2 - n_{n1} - n_{n2})) 100\%,$$

$$G = \rho_{III} K_{II} (n_{u1} + n_{u2}) / (\rho_{II} K_{II} (n_{n1} + n_{n2}) + \rho_{III} (1 - K_{II}) (2 - n_{n1} - n_{n2})) 100\%.$$

ношения:

где n_{n1}, n_{n2} – число нефлокулированных и флокулированных частиц железа соответственно из n расчетных, достигших отверстия для выгрузки песков, n_{u1}, n_{u2} – число мелких и крупных частиц шлама соответственно из n расчетных, достигших слива, K_{TK}, K_{TG} – содержание твердого в песках и сливе соответственно.

Таким образом, определяя каждый раз численно значения коэффициентов модели для данного интервала изменения исходных факторов, мы получаем оценки искомых величин.

Результаты моделирования дещлазации магнетита. Разработанная математическая модель была использована для анализа полей скоростей и движения частиц твердой фазы в чане дещлазатора. В качестве варьируемых параметров выбирались: соотношение расходов песков и слива, конусности чана и днища, диаметр отверстия для удаления песков, конфигурация диффузора, размеры бака, диаметр слива. Варьировались параметры, приведенные в табл. 1.

Расчет производился для четырех типов частиц:

- а) $\varnothing 7$ мкм, $\rho = 7,8$ кг/см³,
- б) $\varnothing 4$ мкм, $\rho = 7,8$ кг/см³,
- в) $\varnothing 7$ мкм, $\rho = 2,8$ кг/см³,
- г) $\varnothing 4$ мкм, $\rho = 2,8$ кг/см³.

Таким образом, исследовалось движение флокул магнетита (а), нефлокулированного железа (б), крупных частиц шламов (в) и мелких частиц шламов (г). В начальный момент времени частицы располагались равномерно по диаметру диффузора; скорость их в начальный момент времени принималась равной скорости жидкости в точках их расположения.

Расчет производился до момента достижения ими слива или отверстия для удаления песков. При осесимметричном движении пульпы типичная картина распределения горизонтальной (u) и вертикальной (v) скоростей движения пульпы при различной конфигурации дещлазатора и диффузора показаны на рис. 1 в виде линий равных скоростей, движение жидкой фазы при трехмерном вихревом течении – на рис. 2. Траектории частиц различного размера и плотности при трехмерном вихревом течении показаны на рис. 3.

Таблица 1 – Интервалы изменения конструктивно-технологических факторов

Наименование факторов	Единицы измерения	Интервалы варьирования
1. Конусность верхней части чана	() ⁰	-20 ÷ 20
2. Конусность нижней части чана	() ⁰	0 ÷ 45
3. Диаметр слива	мм	20 ÷ 1500
4. Заглубление диффузора	мм	10 ÷ 230
5. Диаметр диффузора	мм	100 ÷ 800
6. Расход песков	м ³ /с	$1,7 \times 10^{-4} \div 3,6 \times 10^{-4}$
7. Мощность питания (объем питания)	м ³ /с	$1,7 \times 10^{-4} \div 4,2 \times 10^{-4}$
8. Конусность низа диффузора	() ⁰	-80 ÷ 80
9. Конусность верха диффузора	() ⁰	-80 ÷ 80
10. Диаметр бака	мм	50 ÷ 5000
11. Высота уровня слива	мм	80 ÷ 1000

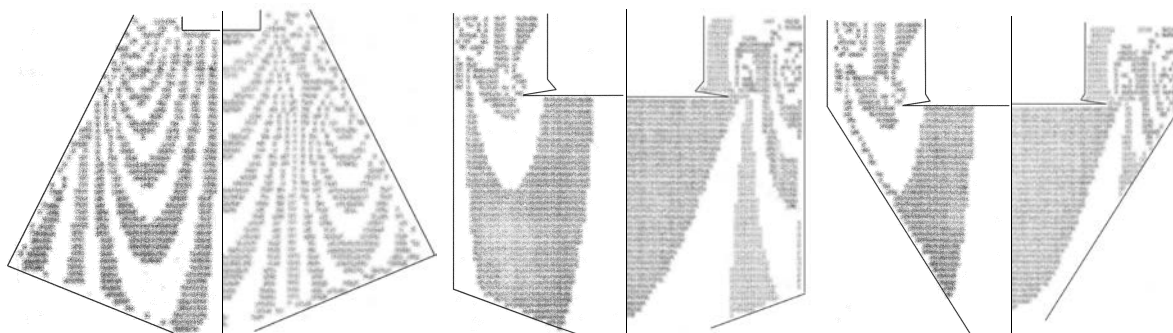


Рис. 1 – Линии равных скоростей ламинарного осесимметричного течения (левая половина – горизонтальная компонента, правая – вертикальная)

Обсуждение результатов моделирования обогащения магнетита. По мере удаления от оси симметрии чана возрастают скорости восходящих потоков и происходит активное разделение частиц. Поэтому равномерное распределение пульпы по срезу диффузора нецелесообразно. Существенно также уменьшение отверстия для удаления песков (рис. 2).

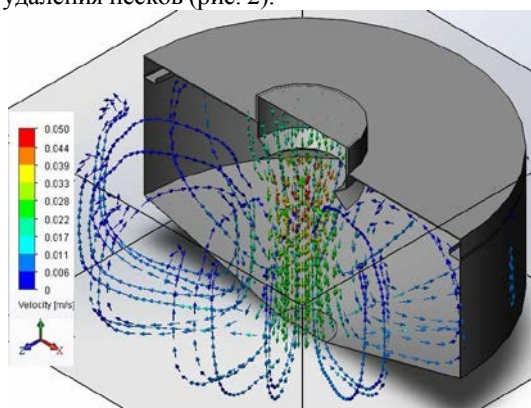


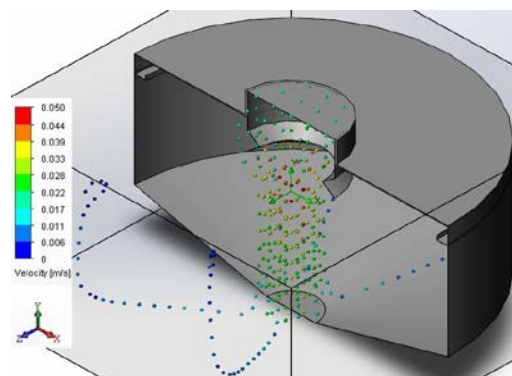
Рис. 2 – Скорости движения жидкой фазы

В верхней части чана при полном погружении диффузора в жидкость возможно скопление легких частиц вблизи поверхности бака и диффузора. Область низких скоростей и застоя наблюдается также в зоне сочленения цилиндрической и конической частей чана. Наиболее существенное влияние на разделение породы оказывает соотношение расходов удаления песков и слива, а также диаметра отверстия для удаления песков. Влияние расположения слива существенно зависит от других факторов: при сильном расходе песков эффективен более широкий слив, при малом – средний.

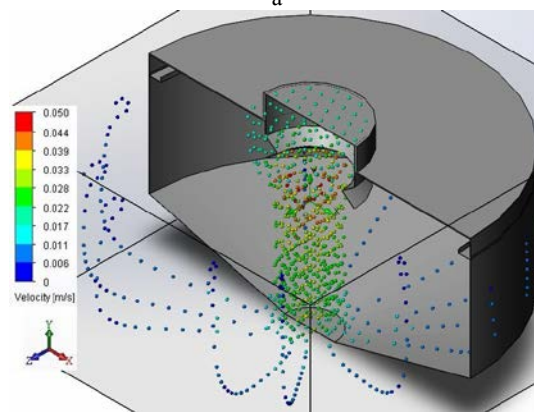
Анализ влияния конусности цилиндрической и конической частей чана показывает, что отсутствие за-

стойных зон обеспечивается при приближении чана к конической форме.

Таким образом, математическая модель должна включать все рассмотренные факторы. При этом существенное внимание следует уделить форме диффузора, а также влиянию радиуса слива и формы чана.



а



б

Рис. 3 – Траектории и скорости движения частиц: а – флоккулы, б – шламы

Выводы. В результате проведенных исследований получены математические модели дешламации магнетита и метод, позволяющий использовать их в автоматических системах управления технологическим процессом обогащения железной руды.

Список литературы: 1. *Пилов, П. И.* Математическое моделирование и структурно-экстраполяционный анализ в задачах обогащения [Текст]: монография / П. И. Пилов, А. М. Мильцын, В. И. Олевский. – 2-е изд., испр. и доп. – Д. : НГУ, 2011. – 187 с. 2. *Барский, М. Д.* О соотношении скорости витания и осаждения твердых частиц в жидкой среде [Текст] / М. Д. Барский, А. В. Говоров // Горный журнал. – 1978 г. – № 1. – С. 169–171. 3. *Лященко, П. В.* Гравитационные методы обогащения [Текст]: монография / П. В. Лященко. – М. : Гостоптехиздат. 1940. – 359 с. 4. *Кармазин, В. В.* Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых [Текст]: в 2-х т. / Магнитные и электрические методы обогащения полезных ископаемых / В. В. Кармазин, В. И. Кармазин. – М. : МГГУ, 2005 г. – 1. т. – 669 с. 5. *Кармазин, В. И.* Обогащение руд черных металлов [Текст]: монография / В. И. Кармазин. – М. : Недра, 1982. – 216 с. 6. *Павлушенко, И. С.* Свободное движение одиночных частиц в неподвижной неорганической среде [Текст] / И. С. Павлушенко // Журнал прикладной химии. – 1956. – XXIX, вып. 6. – С. 885–898. 7. *Тихонов, О. Н.* Введение в динамику массопереноса процессов обогатительной технологии [Текст]: монография / О. Н. Тихонов. – Л. : Недра, 1973. – 240 с. 8. *Клячко, Л. С.* Основы расчета процессов и аппаратов промышленной вентиляции [Текст]: монография / Л. С. Клячко. – Л. : Профиздат, 1962. – 181 с. 9. *Алямовский, А. А.* Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation [Текст]: монография / А. А. Алямов-

ский. – Часть 2. – М.: ДМК-Пресс, 2010. – 464 с. 10. *Олевский, В. И.* Имитационное моделирование гравитационного обесшламливания магнетита в системе «SolidWorks Flow Simulation» [Текст] / В. И. Олевский, А. В. Олевский // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доповідей XXII міжнародної науково-практичної конференції, Ч.IV (21-23 травня 2014 р., Харків) / за ред. проф. ТОВАЖНЯНСЬКОГО Л.Л. – Харків, НТУ «ХПІ». – С. 59.

Bibliography (transliterated): 1. *Pilov, P., Miltin, A., Olevskiy, V.* (2011). Matematicheskoe modelirovaniye i strukturno-extrapolyacionniy analiz v zadachah obogashcheniya. Dnepropetrovsk: NGU, 187. 2. *Barskiy, M., Govorov, A.* (1979). O sootnoshenii skorosti vitaniya i osazhdeniya tverdykh chastic v zhidkoy srede. Gornyy gurnal, 1, 169–171. 3. *Lyashchenko, P.* (1940) Gravitacionniye metody obogashcheniya. Moscow: Gostoptehizdat, 359. 4. *Karmazin, V., Karmazin, V.* (2005) Magnitniye, elektricheskiye i specialniye metody obogashcheniya poleznykh iskopaemih. V. 1. Moscow: MGGU, 669. 5. *Karmazin, V.* (1982) Obogashcheniye rud chernih metallov. Moscow: Nedra, 216. 6. *Pavlushenko, I.* (1956) Svobodnoye dvizheniye odinochnih chastic v nepodvizhnoy neorganicheskoy srede. Zhurnal prikladnoy himii, XXIX, 6, P. 885–898. 7. *Tihonov, O.* (1973) Vvedeniye v dinamiku massoperenosa processov obogatitelnoy tehnologiyi. Leningrad: Nedra, 240. 8. *Klyachko, L.* (1962) Osnovy rascheta processov i apparatov promishlennoy ventilyacii. Leningrad: Profizdat, 181. 9. *Al'yamovskiy, A.* (2010) *nzhenerniye raschety v SolidWorks Simulation. Part 2.* Moscow: DMK-Press, 464. 10. *Olevskiy, V., Olevskiy, A.* (2014) Imitacionnoye modelirovaniye gravitacionnogo obesshlamlivaniya magnetita v sisteme “SolidWorks Flow Simulation”. Kharkov: NTU “HPI”, 59.

Поступила (received) 21.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Мищенко Віктор Олегович – доктор технічних наук, доцент, Харківський національний університет імені В. М. Каразіна, професор кафедри моделювання систем і технологій, пл. Свободи 4, м. Харків, 61022, тел.: 050-40-07-160, e-mail: mischenko@kharkov.univer.ua.

Мищенко Виктор Олегович – доктор технических наук, доцент, Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, профессор кафедры моделирования систем и технологий, пл. Свободы 4, г. Харьков, 61022, тел.: 050-4-007-160, e-mail: mischenko@kharkov.univer.ua.

Mishchenko Victor – doctor of technical sciences, associate professor, Kharkov National University named after V. N. Karazin; Svobody square 4, Kharkov, 61022; tel.: 050-4-007-160, e-mail: mischenko@kharkov.univer.ua.

Олевський Віктор Ісаакович – кандидат технічних наук, доцент, Український державний хіміко-технологічний університет, завідувач кафедри вищої математики, пр. Гагаріна 8, м. Дніпропетровськ, 49005, тел.: 050-34-02-207, e-mail: volevnew@gmail.com.

Олевский Виктор Исаакович – кандидат технических наук, доцент, Украинский государственный химико-технологический университет, заведующий кафедрой высшей математики, пр. Гагарина 8, г. Днепропетровск, 49005, тел.: 050-34-02-207, e-mail: volevnew@gmail.com.

Olevskiy Viktor – candidate of technical sciences, associate professor, Ukrainian state university of chemical technology, Gagarina avenue 8, Dnepropetrovsk, 49005, tel.: 050-34-02-207, e-mail:

Олевська Юлія Борисівна – кандидат фізико-математичних наук, Національний гірничий університет, доцент кафедри вищої математики, пр. Карла Маркса 19, м. Дніпропетровськ, 49600, тел.: 050-56-06-583, e-mail: ojulianew@gmail.com.

Олевская Юлия Борисовна – кандидат физико-математических наук, Национальный горный университет, доцент кафедры высшей математики, пр. Карла Маркса 19, г. Днепропетровск, 49600, тел.: 050-56-06-583, e-mail: ojulianew@gmail.com.

Olevska Yuliia – candidate of physic and mathematic sciences, associate professor, National mining University, Karl Marx avenue 19, Dnepropetrovsk, 49600, tel.: 050-56-06-583, e-mail: ojulianew@gmail.com.