

рифленной поверхности классификатора. Отчет о НИР ИГТМ НАН Украины; Рук. В.Н. Потураев, № ГР 0193U027844. - Днепропетровск, 1997. - 190 с.

УДК 622.778:621.328.8:532.5

Е.С. Лапшин, А.И. Шевченко

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ КИНЕТИКИ ОЧИСТКИ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ В УСТРОЙСТВЕ ДЛЯ СМЫВА МАГНИТНОГО ПРОДУКТА С ЗУБЧАТЫХ ПЛАСТИН РОТОРНОГО СЕПАРАТОРА

Аналізується процес очистки зворотної води від твердих часток. На основі енергетичного підходу визначається вірогідність викиду часток при їх взаємодії з виступами увігнутої робочої поверхні. Іл. 2. Табл. 1. Бібліогр.: 5 найм.

В статье [1] описан принцип действия устройства для смыва магнитного продукта с зубчатых пластин сепаратора и экспериментально изучено влияние на качество очистки воды геометрических параметров конусообразного тела и расхода.

Полученные данные позволяют разработать математическую модель процесса очистки жидкости.

По мере течения вдоль конусообразного тела очистка жидкости происходит следующим образом. При встрече струи, которая выходит из насадки, с рабочим органом частицы выбрасываются из потока в результате их удара о коническую гладкую поверхность. Далее, при течении жидкости по рифлениям частицы оставляют жидкость вследствие столкновения с выступами. И, наконец, при стекании жидкости с конусообразного тела поток отклоняется к вертикали, что также вызывает выброс частиц под действием сил инерции.

Вероятность того, что частица останется в жидкости после удара, или отклонения потока, обозначим через  $P_i$ . Индексу  $i$ , в зависимости от механизма выброса, будем придавать такие значения:

а) при ударе о гладкую часть конусообразного тела  $i=0$ ;

б) при ударе о выступы  $i$  изменяется от 1 до  $N$ , где  $N$  - количество выступов;

в) при стекании жидкости с конусообразного тела  $i=N+1$ .

Известно [2], что при последовательном проведении операции вероятность конечного события определяется по формуле

$$P_{ca} = \prod_{i=0}^{N+1} P_i. \quad (1)$$

Здесь конечное событие оценивается вероятностью того, что частицы остаются в сливе, об этом символизирует индекс "сл".

В работе [3] для случая выброса частиц из тонкого слоя жидкости в результате косоугольного удара о плоскую поверхность получена формула, которая позволяет определить вероятность попадания частиц в слив

$$P_{ca} = \frac{N_{ca}}{N_0} = \exp\left[0,5(\bar{E} - |\bar{E}|)\right]. \quad (2)$$

Здесь  $N_0$  и  $N_{ca}$  соответственно начальное и конечное количество частиц в единице объема жидкости;

$$\bar{E} = 1 - \kappa_0 \frac{V_1^2}{V_2^2 + V_p^2}, \quad (3)$$

где  $\kappa_0$  - эмпирический коэффициент;

$V_1$  - нормальная составляющая скорости встречи частицы со свободной поверхностью;

$V_2$  - нормальная составляющая скорости вылетевшей из жидкости частицы;

$V_p$  - равновесная скорость.

Равновесная скорость определяется по формуле

$$V_p = \sqrt{\frac{12\sigma}{\rho d (2n - n^2)}}, \quad (4)$$

где  $\sigma$  - коэффициент поверхностного натяжения жидкости;

$\rho$  и  $d$  - плотность и диаметр частицы.

Здесь  $n = \frac{\delta}{d}$ ,

где  $\delta$  - толщина слоя жидкости в сечении.

Скорость  $V_1$  определяют по формуле

$$V_1 = \hat{e}' \cdot u_c \cdot \cos \varphi \quad (5)$$

где  $\hat{e}'$  - эмпирический коэффициент;

$u_c$  - средняя скорость жидкости в сечении;

$\varphi$  - угол встречи частицы со свободной поверхностью жидкости.

Чтобы воспользоваться формулой (3), необходимо определить скорость  $V_2$  и угол  $\varphi$ .

Из экспериментов установлено, что частица не возвращается в жидкость если

$$V_2 = 0,1 \cdot u_c \cdot \sin \varphi \quad (6)$$

Для определения угла  $\varphi$  изобразим траекторию частицы в  $i$ -той впадине (рис. 1). Из построений следует

$$\varphi = 90^\circ - 2\gamma - \beta \quad (7)$$

где  $\gamma = \arctg \frac{r + y_0}{\sqrt{R_0^2 - (r + y_0)^2}}$ .

Здесь  $r$  - радиус частицы;

$y_0$  - координата точки  $B_2$ ;

$R_0 = R_n + r$ ,

$R_n$  - радиус выступа.

Угол  $\beta$  определяется по формуле

$$\beta = \arctg \frac{df}{dx},$$

где  $f$  - функция, описывающая профиль свободной поверхности.

Подставляя (5) и (6) в (3), получим

$$E = 1 - \kappa \frac{u_c^2}{(0,1u_c \cdot \sin \varphi)^2 + V_p^2} \cos^2 \varphi \quad (8)$$

Теперь на основе формул (2) и (7) получим вероятность выброса частиц из пленки жидкости

$$P = 1 - P_{св} \quad (9)$$

где с учетом (1), (2) и (7)

$$P_{ca} = \prod_{i=0}^N P_i P_{N+1} \cdot \exp[0,5(\bar{E}_i - |\bar{E}_i|)] \quad (10)$$

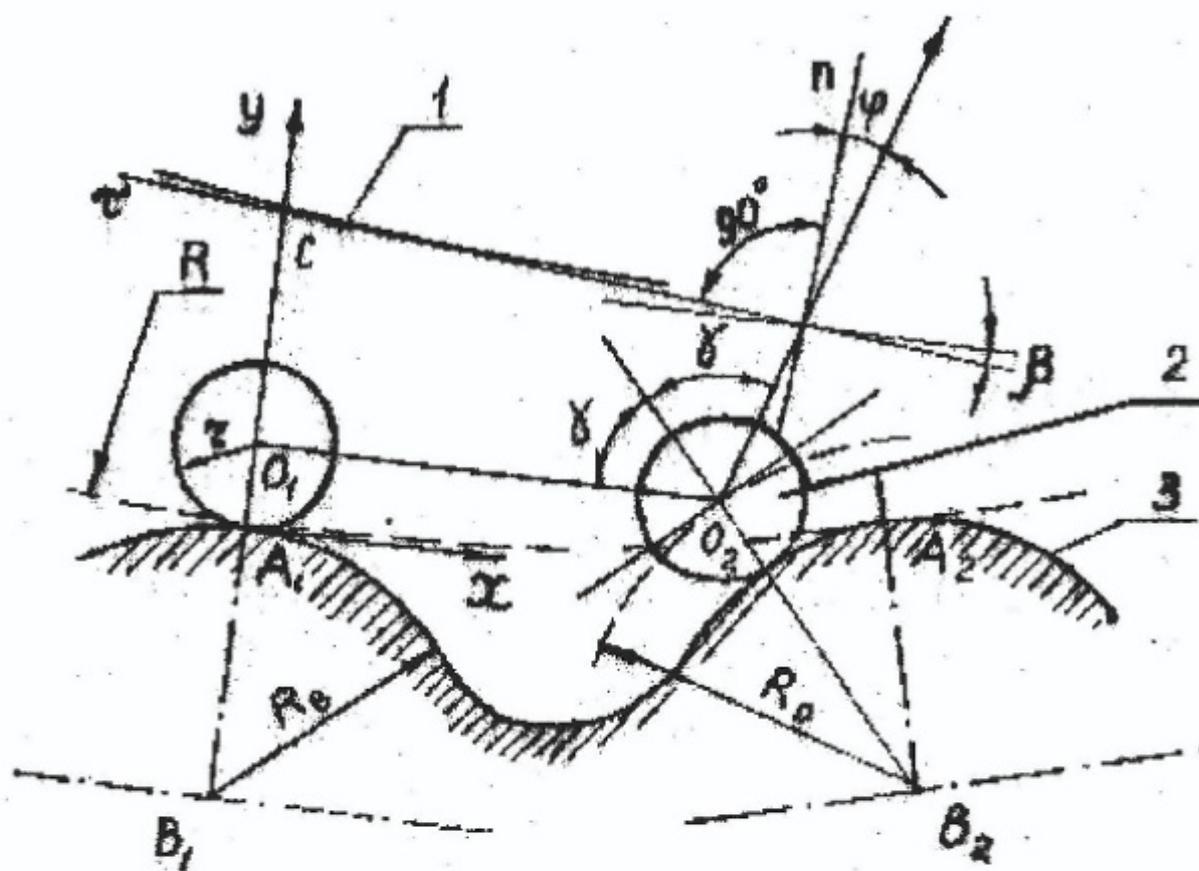


Рис.1. Схема для определения угла встречи  $\varphi$  частицы со свободной поверхностью

1 - свободная поверхность жидкости, 2 - частица, 3 - выступ

Для того, чтобы выполнить расчеты по зависимостям (4)-(10), необходимо сначала определить эмпирический коэффициент в выражении (8). С этой целью было проведено сопоставление экспериментальных распределений суммарных масс выброшенных частиц по длине конусообразного тела с расчетными значениями вероятности выброса, которые получены при различных значениях  $\delta$ . Те значения  $\kappa$ , при которых достигалась минимальная сумма квадратичных отклонений, принималась за искомое значение.

Как показали результаты идентификации,  $\kappa$  является функцией от  $u_c$  и  $R$ . Чтобы подчеркнуть этот факт, будем далее называть  $\delta$  функцией

преобразования скорости потока жидкости в скорость частицы, которую она имеет после удара о выступ.

На рис. 2 качественно изображена функция преобразования скорости. Параметром здесь является радиус кривизны  $R_i$  конусообразного тела. На графике можно выделить четыре зоны, границами которых являются линии  $O_0C_0$ ,  $O_1C_1$  и  $O_3C_3$ . При малых скоростях в зоне между осью абсцисс и линией  $O_0C_0$  выброс частиц не происходит. В интервале скоростей между  $O_0C_0$  и  $O_1C_1$  выброс неустойчивый и малоэффективный. При скоростях, которые лежат правее линии  $O_1C_1$ , происходит устойчивый процесс выброса частиц. Поэтому функция скорости аппроксимируется только справа от этой линии. Зоны между линиями  $O_1C_1$  и  $O_2C_2$  и линиями  $O_2C_2$ - $O_3C_3$  соответственно будем называть зоной 1 и 2.

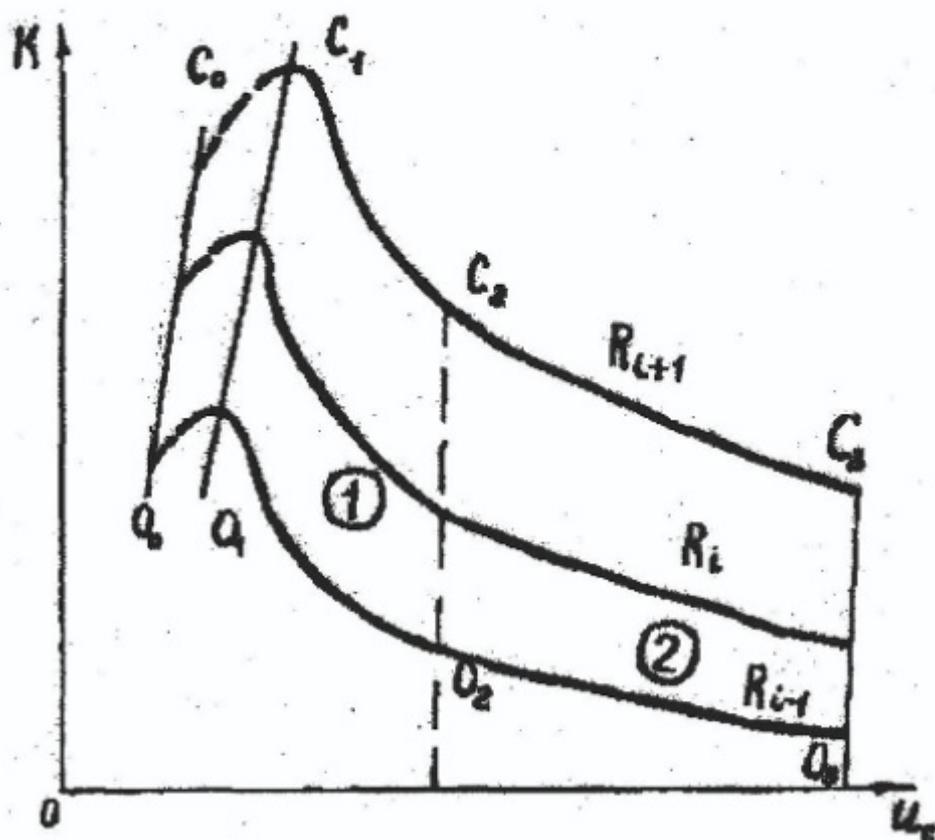


Рис.2. Функция преобразования скорости

Анализ полученных данных показал, что функция преобразования скорости в зоне 1 может быть аппроксимирована выражением

$$\frac{1}{\kappa} = a_1(R) + b_1(R)u_c, \quad (11)$$

где  $a_1(R)$  и  $b_1(R)$  - искомые функции от  $R$ .

В зоне 2  $\kappa$  может быть представлено в таком виде

$$\kappa = a_2(R) + b_2(R)u_c, \quad (12)$$

где  $a_2(R)$  и  $b_2(R)$  - искомые функции от  $R$ .

Функцию  $a_1(R)$  представим в виде разложения по ортогональным многочленам Чебышева  $P_j(R)$  [4].

С целью упрощения расчетов произведем замену переменного

$$R_k^* = \frac{(R_k - R)}{h_0}; \quad (k = 1, 2, \dots, M-1),$$

где  $R$  - среднее значение аргумента;

$h_0$  - шаг базовых точек;

$M$  - количество базовых точек.

Было принято  $R=275$  мм,  $h_0=75$  мм;  $M=7$ . Искомое разложение запишем в виде [4]:

$$a_1(R^*) = c_0 p_0(R^*) + c_1 p_1(R^*) + c_2 p_2(R^*) + \dots + c_n p_n(R^*) \quad (j = 0, 1, \dots, n),$$

$$c_j = \frac{1}{H_j} \sum_{k=1}^M a_{1k} \cdot p_j(R_k^*),$$

$$H_j = \sum_{k=1}^M p_j^2(R_k^*).$$

Ортогональные многочлены Чебышева определяются таким образом:

$$p_0(R^*) = 1, \quad p_1(R^*) = R^*$$

и далее по рекуррентной формуле

$$p_{j+1}(R^*) = R^* p_j(R^*) - \frac{H_j}{H_{j-1}} p_{j-1}(R^*).$$

Таким образом, первые пять многочленов Чебышева имеют вид:

$$p_1 = R^*;$$

$$p_2 = R^{*2} - 4;$$

$$p_3 = R^{*3} - 7R^*;$$

$$p_4 = R^{*4} + \frac{67}{7} R^{*2} + \frac{72}{7};$$

$$p_5 = R^{*5} - \frac{35}{3} R^{*3} + \frac{524}{2}.$$

$$\frac{1}{\kappa} = a_1(R) + b_1(R)u_c, \quad (11)$$

где  $a_1(R)$  и  $b_1(R)$  - искомые функции от  $R$ .

В зоне 2  $\kappa$  может быть представлено в таком виде

$$\kappa = a_2(R) + b_2(R)u_c, \quad (12)$$

где  $a_2(R)$  и  $b_2(R)$  - искомые функции от  $R$ .

Функцию  $a_1(R)$  представим в виде разложения по ортогональным многочленам Чебышева  $P_j(R)$  [4].

С целью упрощения расчетов произведем замену переменного

$$R_k^* = \frac{(R_k - R)}{h_0}; \quad (k = 1, 2, \dots, M-1),$$

где  $R$  - среднее значение аргумента;

$h_0$  - шаг базовых точек;

$M$  - количество базовых точек.

Было принято  $R=275$  мм,  $h_0=75$  мм;  $M=7$ . Искомое разложение запишем в виде [4]:

$$a_1(R^*) = c_0 p_0(R^*) + c_1 p_1(R^*) + c_2 p_2(R^*) + \dots + c_n p_n(R^*) \quad (j = 0, 1, \dots, n),$$

$$c_j = \frac{1}{H_j} \sum_{k=1}^M a_{1k} \cdot p_j(R^*),$$

$$H_j = \sum_{k=1}^M p_j^2(R^*).$$

Ортогональные многочлены Чебышева определяются таким образом:

$$p_0(R^*) = 1; \quad p_1(R^*) = R^*$$

и далее по рекуррентной формуле

$$p_{j+1}(R^*) = R^* p_j(R^*) - \frac{H_j}{H_{j-1}} p_{j-1}(R^*).$$

Таким образом, первые пять многочленов Чебышева имеют вид:

$$p_1 = R^*;$$

$$p_2 = R^{*2} - 4;$$

$$p_3 = R^{*3} - 7R^*;$$

$$p_4 = R^{*4} + \frac{67}{7} R^{*2} + \frac{72}{7};$$

$$p_5 = R^{*5} - \frac{35}{3} R^{*3} + \frac{524}{2}.$$

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лапшин Е.С., Шевченко А.И. Экспериментальное исследование кинетики очистки оборотной воды для смыва магнитного продукта с зубчатых пластин сепаратора. Оpubл. в этом же сборнике.

2. Барский Л.А., Козин В.З. Системный анализ в обогащении полезных ископаемых. - М.: Недра, 1978. - 486 с.

3. Лапшин Е.С. Математическое моделирование выброса частиц из пленки пульпы под действием удара / ВИНТИ. Деп. № 780, Днепропетровск, 1990. - 12 с.

4. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. - М.: Наука, 1971. - 192 с.

5. Лапшин Е.С., Шевченко А.И. Экспериментальное определение предельной скорости подачи питания на конусообразную вогнутую рифленую рабочую поверхность пленочного классификатора // Геотехническая механика. Сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины. - Днепропетровск. Вып. 4. - С. 146-149.

УДК 625.1- 622.6

В.В. Говоруха, А.В. Говоруха

### **УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ПО РЕЛЬСОВОМУ ПУТИ С ИНЕРЦИОННЫМИ, УПРУГО-ДИССИПАТИВНЫМИ СВОЙСТВАМИ ПУТЕВОЙ СТРУКТУРЫ ПРОИЗВОЛЬНОЙ КРИВИЗНЫ.**

Викладено наукові основи створення рівняння руху рейкових транспортних засобів по рейковій колії з інерційними, пружно-десипативними властивостями колійної структури при різноманітній кривизні колії і стрілочних переводів з урахуванням впливу рейок на окремих підвалинах. Іл. 2. Бібліогр. : - 4 найм.

Рассмотрим вывод уравнений пространственных колебаний рельсового транспортного средства при его равномерном движении вдоль инерционной, упруго-диссипативной путевой структуры произвольного