Б. Р. ИСМАИЛОВ, Л. А. СУЛЕЙМЕНОВА, А. М. КАУГАЕВА

РАСЧЕТ ПРОЦЕССА КЛАССИФИКАЦИИ СУСПЕНЗИИ НА СИТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ

(Представлена академиком НАН РК О. С. Балабековым)

Процессы обезвоживания и классификации суспензий и шламовых продуктов на ситах и грохотах широко применяются в химической промышленности, углеобогащении и других отраслях промышленности. Если для описания процесса грохочения сухих материалов существует достаточно много подходов и некоторые из них хорошо разработаны, то область и уровень исследований процессов ситовой классификации и обезвоживания суспензий весьма ограничены.

Для математического моделирования потоков однородной жидкости на проницаемой поверхности используются методы гидравлики переменной массы и гидродинамики при постоянной зависимости отвода жидкости [1] под сито по его длине. В работе [2] для решения уравнений

гидродинамики течения по ситовой поверхности использованы методы теории «мелкой воды». В соответствие с этим методом, в результате преобразования координат в продольном и поперечном направлениях потока и введения малого параметра, уравнения Навье-Стокса распадаются на ряд задач, имеющих аналитическое решение. При этом полагается, что скорость истечения через щели колосникового сита определяется давлением слоя жидкости. На рис. 1 показана схема течения суспензии на наклонной поверхности сита. Схематически показано возрастание концентрации крупной фракции вблизи поверхности сита.

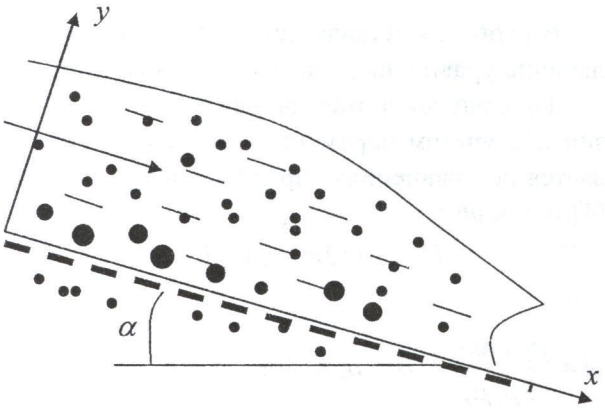

Рис. 1. Схема течения суспензии на наклонной поверхности сита

В задачах течения суспензии по сплошной поверхности реологические свойства среды неизменны. Для потоков на ситовой поверхности необходимо учитывать извлечение, как дисперсионной среды, так и часть дисперсной среды, представленной частицами нижнего класса крупности. При этом реологические свойства суспензии на сите изменяются вдоль течения, а извлечение под сито, в свою очередь, зависит от мгновенных параметров потока. В настоящее статье рассмотрен процесс классификации суспензии на наклонной ситовой поверхности с учетом отмеченных особенностей.

Течение суспензии по ситовой поверхности описывается уравнениями Навье-Стокса для продольной и нормальной составляющих скорости u и v с эффективной вязкостью суспензии, рассчитываемой по изложенной выше модели:

$$\frac{\partial U}{\partial x}+\frac{\partial V}{\partial y}=0, \qquad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t}+U\frac{\partial U}{\partial x}+V\frac{\partial U}{\partial y}+\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x}-g\sin\alpha=$$

$$=\nu\left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 U}{\partial y^2}\right), \qquad (2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t}+U\frac{\partial V}{\partial x}+V\frac{\partial V}{\partial y}+\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial y}-g\cos\alpha=$$

$$=\nu\left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 V}{\partial y^2}\right). \qquad (3)$$

Как показано в работе [2], при малой толщине слоя суспензии и малой скорости течения (в условиях ползущего течения) средняя скорость течения суспензии через проницаемую поверхность сита пропорциональна давлению слоя, т.е. толщине потока суспензии.

Тогда граничные условия для поперечной составляющей скорости на поверхности сита при $y = 0$ можно записать в виде:

$$V(0)=-\frac{\zeta}{v_w}h, \qquad (4)$$

где согласно [2, 3]

$$\zeta = gK\delta\Gamma, \qquad (5)$$

$$K=\frac{2b_1 k\sigma}{l(\rho ghb-2k\sigma)}. \qquad (6)$$

Геометрический параметр сита рассчитывается, исходя из конфигурации колосникового тонкоячеистого сита (рис. 2) по соотношению [2]:

$$\Gamma=\frac{1}{2}\cos\alpha(1-\cos\theta)\frac{r_1 r_2^2}{r_2^2-r_1^2}. \qquad (7)$$

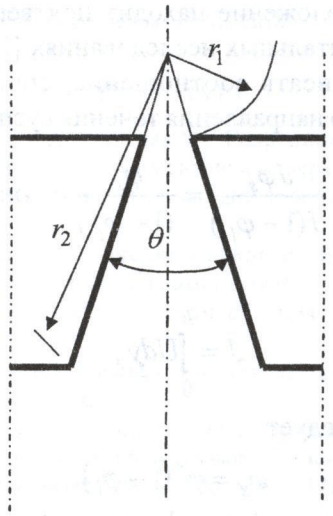

Рис. 2. Схема щели колосникового тонкоячеистого сита

На свободной поверхности потока при $y = h$ ставятся условия равенства нулю касательных напряжений и продольного градиента давления:

$$\left(\frac{\partial U}{\partial y}+\frac{\partial V}{\partial x}\right)\left[1-\left(\frac{dh}{dx}\right)^2\right]=-4\frac{dh}{dx}\frac{\partial V}{\partial y}, \quad (7)$$

$$\frac{\partial P}{\partial x}=0. \quad (8)$$

Полидисперсную твердую фазу в суспензии представим условно в виде композиции двух фракций: мелкой, - которая проходит через ячейки сита и крупной, т.е. той, которая задерживается. Тогда объемная доля дисперсной фазы в суспензии записывается как сумма долей каждой из упомянутых фракций:

$$\varphi=\varphi_s+\varphi_l. \quad (9)$$

Из уравнения неразрывности (1) и соотношения (4) получаем:

$$\frac{d}{dx}\int_0^h U dy=-\frac{\zeta h}{\nu_w}, \quad (10)$$

Введем параметр относительной концентрации мелкой дисперсной фракции в потоке суспензии, характеризующий соотношение мелкой фракции к потоку жидкой фазы:

$$\varphi^*=\frac{\varphi_s^{(0)}}{1-\varphi_l^{(0)}}=const. \quad (11)$$

Примем далее гипотезу о псевдогомогенном режиме просачивания суспензии в составе жидкой фазы и мелкой дисперсной фазы через сито. Это предположение находит подтверждение в экспериментальных исследованиях [2, 3]. Тогда можно записать соотношение, справедливое вдоль всего направления течения суспензии:

$$\varphi^*=\frac{J\varphi_s}{J(1-\varphi_l)}=\frac{\varphi_s}{(1-\varphi_l)}=const, \quad (12)$$

где

$$J=\int_0^h U dy, \quad (13)$$

Отсюда следует

$$\varphi_s=\varphi^*(1-\varphi_l). \quad (14)$$

Поскольку крупная фракция не проходит через сито, то ее поток в стационарном режиме процесса не меняется:

$$J\varphi_l=J_0\varphi_l^{(0)}. \quad (15)$$

Отсюда получаем

$$\varphi_l=\frac{J_0\varphi_l^{(0)}}{J}. \quad (16)$$

Таким образом, для суммарного содержания дисперсной фазы в суспензии вдоль линии течения имеем

$$\phi=\varphi_s+\varphi_l=\varphi^*(1-\varphi_l)+\varphi_l=$$
$$=\varphi^*+(1-\varphi^*)\frac{J_0\varphi_l^{(0)}}{J}. \quad (17)$$

В итоге представляется следующие определяющие уравнения модели и схема расчета.

Продольная составляющая скорости суспензии U с учетом переменой вязкости рассчитывается по уравнениям, предложенным в работе [4], а именно:

$$U=Ay(2h-y)+B\phi h, \quad (18)$$

где

$$A=\frac{\rho g\cos\alpha}{2\mu_l\mu_r};\ B=\mu_r K_\varsigma\left(hd_p\rho_{con}g\cos\alpha\right). \quad (19)$$

Тогда для потока суспензии получаем:

$$J=\int_0^h U dy=\frac{2}{3}Ah^3+B\phi h^2. \quad (20)$$

В последнем соотношении параметры являются функциями толщины пленки h и суммарного содержания твердой фазы $\varphi_s+\varphi_l$. Далее соотношение (20) подставляется в выражение (10), что с учетом (17) дает уравнение для расчета расхода и толщины пленки.

Описанная модель была использована для численного исследования течения водоугольной суспензии по ситовой поверхности. Основные параметры расчета были выбраны следующими: начальная толщина пленки $H = 0{,}1$ м; кинематическая вязкость жидкой фазы $\nu_0 = 10^{-6}$ м²/с; длина сита $L = 0{,}2$ м.

На рис. 3 показаны профили поверхности потока суспензии на сите для разных скоростей потока в начальном сечении. Пунктирными линиями показаны результаты нашего расчета, сплошные линии - данные работ [2, 3].

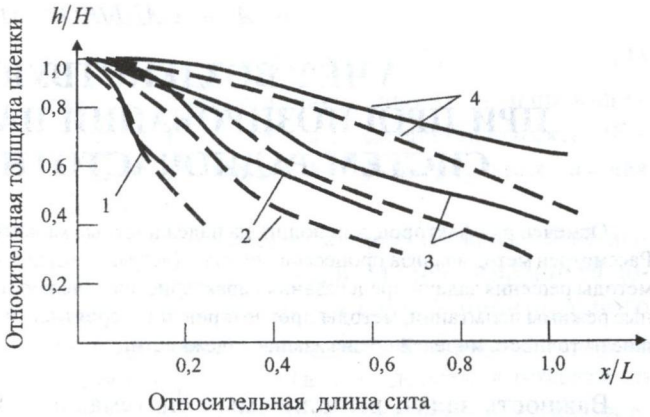

Рис. 3. Влияние скорости набегающего потока на профиль свободной поверхности суспензии: *1* – U_0 = 0,1 м/с; *2* – U_0 = 0,3 м/с; *3* – U_0 = 0,5 м/с; *4* – U_0 = 0,7 м/с

Как видно из графиков, зависимости $h(x)$ имеют точку перегиба.Это объясняется тем, что на начальном участке сита преобладает инерционная составляющая процесса, а по мере уменьшения глубины потока возрастает роль диссипативной составляющей. С увеличением начальной скорости точка перегиба удаляется от точки набегания потока на сито x = 0, а извлечение жидкости вдоль продольной координаты замедляется.

Погрешность расчета возрастала по мере увеличения скорости потока, что объясняется, вероятно, нарушением при этом гипотезы (12).

На графиках рис. 4 приведены зависимости $h(x)$ при разных содержаниях твердой фазы в набегающем на сито потоке для U_0 = 0,5 м/с.

Полученные данные иллюстрируют эволюцию профиля свободной поверхности потока при изменении исходной вязкости суспензии за счет содержания твердых частиц.

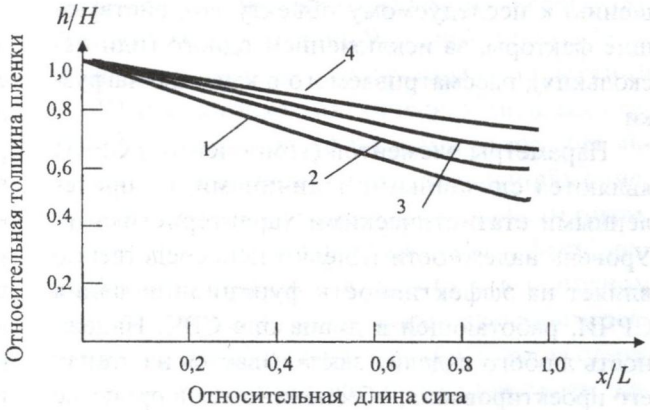

Рис. 4. Влияние содержания дисперсной фазы в исходной суспензии на профиль свободной поверхности: *1* – ϕ_0 = 0; *2* ϕ_0 = 0,2; *3* – ϕ_0 = 0,3; *4* – ϕ_0 = 0,5

Численный эксперимент показывает, что уменьшение глубины потока и продольной компоненты скорости при возрастании вязкости суспензии, т.е. уменьшение числа Re, способствует ослаблению условий проявления нелинейных и усилению диссипативных эффектов. В этом случае работа диссипативных сил приводит к уменьшению крутизны профиля свободной поверхности потока.

Таким образом, разработанная модель течения суспензии по ситовой поверхности включает основные параметры потока и сита и может быть рекомендована в качестве инженерной методики расчета.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Полулях А.Д., Сансиев В.Г.* Гидродинамика потока водоугольной суспензии на ситовой поверхности // Геотехническая механика. Вып. 64. Днепропетровск, 2006. С. 106-118.

2. *Сансиев В.Г.* Течение жидкости через щель колосникового сита тонкого грохочения // Обогащение полезных ископаемых: Науч.-техн. сб. 2004. Вып. 20(61). С. 88-94.

3. *Урьев Н.Б., Потанин А.А.* Текучесть суспензий и порошков. М.: Химия, 1992. 256 с.

4. *Ташимов Л., Каугаева А.* Новые подходы к моделированию течения суспензий и осадков // Поиск. Серия естественных и технических наук. 2006. №4. С. 173-177.

Поступила 12.10.08г.