

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алимов Р.З. Интенсификация массоотдачи с помощью закрученного потока // ЖПХ. – 1962. Т.35. № 3. – С. 524–529.
2. Алимов Р.З. Интенсификация конвективного тепло- и массообмена с помощью завихренного двухфазного потока // Изв. АН СССР, ОТН «Энергетика и автоматика». – 1962. № 1. – С. 101–105.
3. Ершов А.И. Разработка, исследование и применение элементарных ступеней контакта с взаимодействием фаз в закрученном прямотоке: Автореф. дис... доктор. техн. наук. – Л.: ЛТИ, 1975.
4. Хотин Л.М. Исследование гидродинамики одно- и двухфазного закрученного потока в трубах и контактных устройствах: Дис... канд. техн. наук. – Минск, 1980. – 137 с.
5. Шукин В.К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил. – М.: Машиностроение, 1970. – 330 с.
6. Николаев Н.А., Жаворонков Н.М., Малюсов В.А. Расчет ректификационных колонн с прямоточными и прямоточно-вихревыми контактными устройствами // ТОХТ. – 1974. Т. 8. – С. 853–865.
7. Устименко В.П., Ткацкая О.С. Аэродинамика закрученной струи // Сб. «Проблемы энергетики и прикладной теплофизики». – Алма-Ата: Наука, 1970. – Вып.6. – С. 211–216.
8. Дубов В.С. Распространение свободной закрученной струи в затопленном пространстве // Сб. ЛПИ «Энергомашиностроение». – 1955. № 176. – С. 137–145.
9. Тонанайко Ю.М., Воронцов Е.Г. Методы расчета и исследования пленочных процессов. – Киев: Техника, 1975. – 311 с.

УДК 666.92

Э.И. Левданский, профессор; А.Э. Левданский, ст. преподаватель;  
А.И. Вилькоцкий, ассистент

### РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ПРОТОЧНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ В ЛИНЕЙНОМ ГРОХОТЕ

The complete mathematical model of process of classification in a linear roar is created. The mathematical description of processes in an inclined roar is made.

Для снижения энергозатрат и повышения эффективности процесса помола необходимо продукты измельчения, не задерживая в рабочей зоне, постепенно выводить из нее. Однако удалить из зоны помола только мелкие частицы, соответствующие размерам готового продукта, практически невозможно, и поэтому в удаляемом из мельницы материале всегда будут находиться и более крупные частицы, которые необходимо выделить из общей массы и снова направить в мельницу для дополнительного измельчения. Такая схема называется замкнутым циклом помола и находит все более широкое применение в промышленности. Эффективность помола при замкнутом цикле сильно зависит от качества разделения выходящего из мельницы материала в классифицирующем устройстве. Известно большое количество конструкций гидравлических классификаторов. В последние годы в зарубежной цементной и горнорудной промышленности для обеспечения работы мельниц мокрого помола в замкнутом цикле с успехом

начали применять проточные дуговые грохоты. Для этих же целей можно использовать и линейные проточные грохоты. Интенсифицировать процессы классификации в них до уровня дуговых грохотов и выше возможно при создании над пленкой суспензии избыточного давления. При этом осуществление процесса классификации в линейных грохотах возможно при более низких скоростях пленки суспензии вдоль перфорированной поверхности. Однако использование как линейных, так и дуговых грохотов сдерживается отсутствием инженерной методики расчета. Опишем математически процессы, происходящие в линейном грохоте.

Обозначим скорость потока вдоль перфорированной поверхности грохота  $u_x$ , а толщину этого потока через  $b$ , скорость фильтровального потока через  $u_y$ , угол наклона плоского грохота через  $\alpha$ .

Запишем уравнение Навье-Стокса для плоского ламинарного несжимаемого течения при наличии фильтровального потока и уравнение неразрывности:

$$\begin{cases} u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} + \nu_c \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + g \sin \alpha; \\ \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность потока суспензии;  $p$  – давление;  $\nu_c$  – кинематическая вязкость суспензии;  $g$  – ускорение свободного падения. Давление по длине – величина постоянная, поэтому  $\frac{dp}{dx} = 0$ . В этом случае для участка элемента небольшой длины можно принять  $u_y = \text{const}$ . Скорость  $u_y$  не зависит от  $y$ , тогда из уравнения неразрывности следует, что  $u_x$  не зависит от  $x$ . Тогда уравнение Навье-Стокса для потока вдоль оси  $Ox$  запишется так:

$$u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} = \nu_c \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + g \sin \alpha. \quad (2)$$

Решаем уравнение, учитывая условие прилипания на стенке:  $u_x = 0$  при  $y = 0$ ;

$-\tau_m = \mu_c \frac{\partial u_x}{\partial y} = 0$  на свободной поверхности при  $y = b$ :

$$u_x = \frac{g \nu_c \sin \alpha}{u_y^2} e^{\frac{|u_y| y}{\nu_c}} \left( 1 - e^{-\frac{|u_y| y}{\nu_c}} \right) - \frac{g \sin \alpha \cdot y}{|u_y|}. \quad (3)$$

Интегрируя профиль скорости по толщине пленки, получим зависимость для среднерасходной скорости пленки суспензии:

$$u_{нл.р.} = \frac{1}{b} \left( \frac{g v_c \sin \alpha}{u_\phi^2} e^{\frac{|u_\phi| b}{v_c}} \left( b + \frac{v_c}{|u_\phi|} e^{\frac{|u_\phi| b}{v_c}} - \frac{v_c}{|u_\phi|} \right) - \frac{g b^2 \sin \alpha}{2 |u_\phi|} \right). \quad (4)$$

Полученная из уравнения Навье–Стокса зависимость хорошо описывает поведение жидкости в канале с перфорированным днищем. В реальных же грохотах мы имеем дело с движением суспензий, в которых частицы взаимодействуют между собой и стенками канала, что приводит к снижению скорости. Для учета этих эффектов многими исследователями [1, 2, 3] вводится понятие эффективной вязкости  $\mu_{эф}$ , которая зависит в основном от объемной концентрации частиц  $\varphi$ . Однако некоторые авторы считают, что такое допущение справедливо, если среда достаточно мелкодисперсная или близка к равноплотным, так что стоксовская скорость пренебрежимо мала по сравнению со средней скоростью течения суспензии. В работах [1, 3] также отмечается, что разбавленные суспензии близки к ньютоновским жидкостям вплоть до объемной концентрации частиц  $\varphi \leq 0,5$ .

Для определения эффективной вязкости Эйнштейном была теоретически получена следующая зависимость:

$$\mu_{эф} = \mu_{ж} (1 + 2,5\varphi). \quad (5)$$

В работе [4] показана возможность использования данной зависимости до уже указанной объемной концентрации суспензии.

Авторами проводились экспериментальные исследования, в которых было выявлено, что реальная скорость пленки суспензии несколько ниже скорости, рассчитанной по уравнениям. Это объясняется тем, что при расчетах по уравнениям не учитывается взаимодействие частиц суспензии с фильтровальной поверхностью. Поэтому для более точного расчета скорости пленки необходимо вводить поправочный коэффициент  $A$ , учитывающий взаимодействие частиц суспензии с фильтровальной поверхностью:

$$u_{нл} = u_{нл.р.} (1 - A). \quad (6)$$

Основное влияние на коэффициент  $A$  оказывают концентрация суспензии  $\varphi$ , скорость пленки суспензии и фильтровального потока, а также соотношение плотностей жидкой и твердой фаз. Согласно экспериментальным данным, значение коэффициента  $A$  можно найти по следующей зависимости:

$$A = 0,73\varphi^{0,3} \left( \frac{u_{уст}}{u_{нл.р.}} \right)^{0,51} \left( \frac{\rho_ч}{\rho_{ж}} \right)^{0,25}. \quad (7)$$

В расчетную формулу, определяющую среднерасходную скорость пленки суспензии, входит такая величина, как скорость фильтрования  $u_\phi$ .

Скорость фильтрования можно найти, используя зависимость

$$u_\phi = u_{уст} c K_n, \quad (8)$$

где  $c$  – коэффициент, учитывающий долю фильтровальной поверхности, занятой отверстиями;  $K_n$  – коэффициент перекрытия отверстий.

Скорость истечения жидкости через отверстия перфорации  $u_{ист}$  для статических условий можно найти по известной зависимости:

$$\Delta p_{\phi} = (1 + \xi) \frac{\rho_{ж} u_{ист}^2}{2}, \quad (9)$$

где  $\Delta p_{\phi}$  – потери давления на фильтровальной перегородке;  $\xi$  – коэффициент сопротивления отверстий.

Исследования по проточным процессам разделения, проведенные как авторами, так и другими исследователями [5, 6, 7], показывают, что при наличии проточного течения вдоль фильтровальной поверхности сопротивление для прохода жидкости в отверстия перфорации будут возрастать. Этот фактор можно учесть через поправку для коэффициента сопротивления, как функцию отношения скорости вдоль поверхности фильтрования к скорости истечения.

Результаты исследований по определению  $\xi$  хорошо аппроксимируются следующей зависимостью:

$$\xi = 1 + \left( \frac{u_{пл}}{u_{ист} \sin \alpha} \right)^{1,2}. \quad (10)$$

Давление на фильтровальной поверхности создается толщиной пленки  $b$ , также в некоторых конструкциях грохотов [8] оно может быть вызвано и наличием избыточного давления над пленкой суспензии.

Зависимость для определения скорости истечения можно представить следующим образом:

$$\rho_{ж} b g + P_0 = \rho_{ж} u_{ист}^2 + \frac{\rho_{ж} u_{ист}^{0,8} u_{пл}^{1,2}}{2 \sin^{1,2} \alpha}, \quad (11)$$

где  $P_0$  – избыточное давление, создаваемое в некоторых конструкциях грохотов над пленкой суспензии.

Перекрытие отверстий перфорированной поверхности может значительно снижать скорость фильтрации. Особенно ощутимо это влияние при высокой концентрации частиц в суспензии. Коэффициент перекрытия отверстий перфорации представляет собой отношение разности площадей всех отверстий и перекрытых к площади всех отверстий:

$$K_n = \frac{S_{от} - S_{от}^n}{S_{от}}, \quad (12)$$

Рассмотрим участок единичной площади перфорированной поверхности, имеющей отверстия размером  $\delta$  и коэффициент перфорации  $c$ . Пусть твердые частицы распределены равномерно по объему в пленке суспензии. Предположим, что частицы, содержащиеся в суспензии, имеют кубическую форму, так как такая форма является наиболее близкой для большинства материалов. Пусть в слое частиц, имеющих контакт с перфорированной поверхностью, на единичной поверхности находится  $\Pi$  частиц с

размером  $\delta_{\text{ч}}$ , который равен или больше размера отверстий. Тогда коэффициент перекрытия определится следующей зависимостью:

$$K_n = \frac{c - \delta^3 n c}{c} = 1 - \delta^2 n, \quad (13)$$

Сделать заключение о количестве частиц, содержащихся в единице объема суспензии, способных перекрыть отверстия перфорации, можно только зная дисперсный состав твердой фазы.

Для определения массы всех частиц  $C_{\delta}$ , размер которых меньше  $\delta$ , исследователями предлагаются следующие эмпирические зависимости [9, 10]:

формула Годена – Андреева – Шумана

$$C_{\delta} = A \delta^m, \quad (14)$$

формула Розина – Раммлера

$$C_{\delta} = 1 - e^{-A \delta^m}, \quad (15)$$

где  $A$  и  $m$  – константы, определяемые эмпирическим путем.

Если объемная концентрация частиц в суспензии  $\varphi$ , то в единице объема суспензии будет содержаться частиц, способных перекрыть отверстия перфорации:

$$n = \frac{\varphi(1 - C_{\delta})}{\delta^3}. \quad (16)$$

Если считать, что частицы равномерно распределены по объему, то они будут находиться в вершинах тетраэдров с ребром  $l$ . Тогда расстояние между слоями по горизонтали составит  $\frac{l\sqrt{3}}{2}$ , а по вертикали  $l\frac{\sqrt{6}}{3}$ . На одну частицу будет приходиться объем суспензии

$$V_{\text{ч}} = \left(\frac{l\sqrt{3}}{2}\right)^2 \frac{l\sqrt{6}}{3} = \frac{l^3 \sqrt{6}}{4}. \quad (17)$$

В единице объема количество частиц равно

$$n = \frac{1}{\frac{l^3 \sqrt{6}}{4}} = \frac{4}{l^3 \sqrt{6}}. \quad (18)$$

Приравнивая правые части уравнений (16) и (18), находим расстояние  $l$ :

$$l = \sqrt[3]{\frac{1,63\delta^3}{\varphi(1 - C_{\delta})}} = 1,18\delta \sqrt[3]{\frac{1}{\varphi(1 - C_{\delta})}}. \quad (19)$$

При расположении частиц по вершинам тетраэдров число их на единице поверхности будет равно

$$n = \frac{1}{\frac{3}{4}l^2} = \frac{4}{3l^2}. \quad (20)$$

Подставляя значение  $\Pi$  в уравнение (13), при этом предварительно заменив значение  $l$  на выражение (19), окончательно получим

$$K_n = 1 - \frac{0,95}{\sqrt[3]{\left(\frac{1}{\varphi(1-C_\delta)}\right)^2}}. \quad (21)$$

Все вышеописанное относится только к движению жидкой фазы. Для того чтобы описать классификацию твердых частиц, изменение их концентрации в суспензии (т.е. описать процесс грохочения), рассмотрим силы, действующие на частицы в пленке суспензии. Поведение частиц в потоке к настоящему времени полностью не изучено. Поэтому, как и во многих работах [1 – 11], где рассматривается движение частиц под действием потока газа или жидкости, сделаем ряд допущений.

– Движение жидкости с твердыми частицами вдоль фильтровальной поверхности ламинарное, и гидравлическое сопротивление частиц движению жидкой фазы описывается линейным законом Стокса.

– Суспензия слабоконцентрированная, и частицы не стесняют движение друг друга, не соударяются, не коагулируют.

– Электростатические, термофоретические, диффузиофоретические и другие силы негидродинамической природы отсутствуют.

Определим максимальный размер частиц, которые могут пройти через отверстия перфорации (рис. 1). Для этого рассмотрим кубическую частицу, находящуюся в суспензии, движущейся вдоль перфорированной поверхности наклонного линейного грохота. Пусть частица упала на перфорированную поверхность непосредственно у отверстия и, потеряв скорость, начинает разгоняться потоком суспензии. Ось  $X$  направлена вдоль перфорированной поверхности по ходу движения суспензии. Ось  $Y$  – в сторону истечения жидкой фазы.

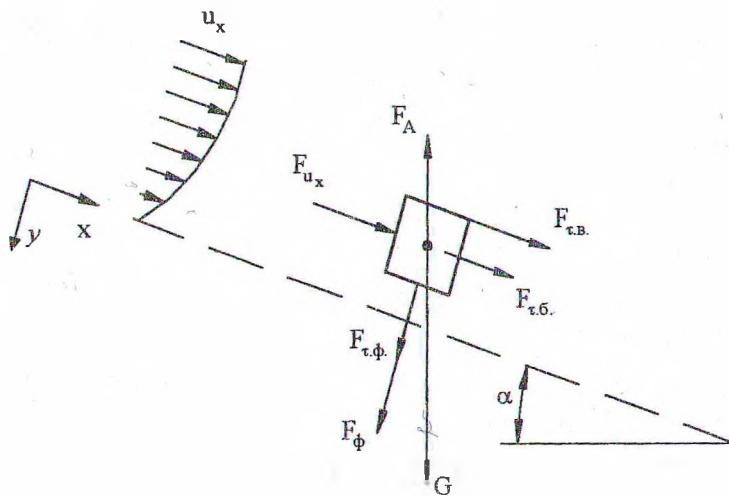


Рис. 1. Частица на поверхности грохота

По оси  $y$  на частицы будут действовать следующие силы.

– Сила тяжести и сила Архимеда, результирующая которых запишется в следующем виде:

$$F_{T-A} = \delta^3 (\rho_{\phi} - \rho_{ж}) g \cos \alpha. \quad (22)$$

– Сила гидравлического сопротивления частицы фильтровальному потоку:

$$F_{\phi} = \xi \frac{\delta^2 \rho_{\phi} |u_{\phi} - v_y|^2}{2}, \quad (23)$$

где  $v_y$  – составляющая скорости частицы по направлению оси  $y$ ;  $\xi$  – коэффициент гидравлического сопротивления, который для несферических частиц можно определить из следующей зависимости [22]:

$$\xi = \frac{A}{Re}, \quad (24)$$

$$\text{где } A = \frac{24}{0,843 \lg \frac{\psi}{0,065}}. \quad (25)$$

Величина  $\psi$  для частиц кубической формы равна 0,806. Решая уравнение (25), получаем  $A = 26,64$ .

Число  $Re$  определим из следующей зависимости:

$$Re = \frac{|u_{\phi} - v_y| d_{эк} \rho_{ж}}{\mu_{ж}}. \quad (26)$$

Эквивалентный диаметр найдем из следующей зависимости [22]:

$$d_{эк} = \sqrt[3]{\frac{6V_{\phi}}{\pi}} = 1,24\delta. \quad (27)$$

Тогда величина коэффициента гидравлического сопротивления  $\xi$  из следующей зависимости равна

$$\xi = 21 \frac{\mu_{ж}}{|u_{\phi} - v_y| \delta \rho_{ж}}. \quad (28)$$

После подстановки значения  $\xi$  из (28) в (23) получим

$$F_{\phi} = 10,5 \mu_{ж} |u_{\phi} - v_y| \delta. \quad (29)$$

– Сила воздействия касательных напряжений фильтровального потока на четыре боковые грани частицы, которая равна

$$F_{\tau\phi} = \tau S = 4\tau\delta^2. \quad (30)$$

Величина касательных напряжений определится следующей зависимостью [23]:

$$\tau = \frac{1}{2} f_{mp} \rho_{ж} |u_{\phi} - v_y|^2 \quad (31)$$

Коэффициент трения  $f_{тр}$  для случая обтекания плоской поверхности частицы равен [23]:

$$f_{mp} = 1,37 \sqrt{\frac{\mu}{|u_{\phi} - v_y| \delta \rho_{ж}}} \quad (32)$$

После подстановки (31) и (32) в уравнение (30) получаем

$$F_{x\phi} = 2,74 \rho_{ж}^{0,5} \mu_{ж}^{0,5} |u_{\phi} - v_y|^{1,5} \delta^{1,5} \quad (33)$$

В горизонтальном направлении на частицу будут действовать следующие силы.

– Сила гидравлического сопротивления, возникающая при воздействии на частицы потока жидкости  $u_x^{cp}$ , движущегося вдоль фильтровальной поверхности. Она определяется аналогично  $F_{cp}$ :

$$F_{u_x} = 10,5 \mu_{ж} \delta u_x^{cp} \quad (34)$$

Найдем среднюю скорость на грани куба  $u_x^{cp}$ . Согласно Шлихтингу [24], профиль скорости с учетом фильтрования запишется

$$u_x^{(y)} = |u_x - v_x| \cdot \left( 1 - e^{\frac{-u_{\phi} y}{v_{ж}}} \right), \quad (35)$$

где  $|u_x - v_x|$  – скорость обтекания частицы потоком вдоль перфорированной поверхности.

Тогда

$$u_x^{cp} = \frac{|u_x - v_x| \int_{y_n}^{y_e} \left( 1 - e^{\frac{-u_{\phi} y}{v_{ж}}} \right) dy}{\delta}, \quad (36)$$

где  $y_n$  и  $y_e$  – координаты соответственно верхней и нижней граней кубической частицы.

Для принятого нами случая, когда частица оказалась на перфорированной поверхности,  $y_n = 0$ , а  $y_e = \delta$ .

Тогда

$$u_x^{cp} = |u_x - v_x| \cdot \left( 1 - \frac{v_{ж}}{\delta u_{\phi}} + \frac{v_{ж}}{\delta u_{\phi}} e^{\frac{-u_{\phi} \delta}{v_{ж}}} \right). \quad (37)$$

Окончательно сила гидравлического сопротивления



$$F_{u_x} = 10,5 \mu_{жс} \delta |u_x - v_x| \cdot \left( 1 - \frac{v_{жс}}{\delta u_\phi} + \frac{v_{жс}}{\delta u_\phi} e^{\frac{-u_\phi \delta}{v_{жс}}} \right) \quad (38)$$

– Сила воздействия касательных напряжений за счет потока жидкости, движущегося вдоль фильтровальной поверхности, на горизонтальные и на две боковые грани частицы.

Для нашего случая в отношении горизонтальных граней расчет ведем только для верхней грани:

$$F_\tau^a = 0,7 \mu_{жс}^{0,5} \rho_{жс}^{0,5} \delta^{1,5} \left| u_x \left( 1 - e^{\frac{-u_\phi \delta}{v_{жс}}} \right) - v_x \right|^{1,5} \quad (39)$$

Для боковых граней необходимо принимать среднюю скорость по высоте из зависимости (37). Тогда сила воздействия касательных напряжений на две боковые грани равна

$$F_\tau^b = 1,4 \delta^{1,5} \mu_{жс}^{0,5} \rho_{жс}^{0,5} \left| u_x \left( 1 - \frac{v_{жс}}{\delta u_\phi} + \frac{v_{жс}}{\delta u_\phi} e^{\frac{-u_\phi \delta}{v_{жс}}} \right) - v_x \right|^{1,5} \quad (40)$$

– Сила, результирующая сил тяжести и Архимеда:

$$F_{T-A}^x = \delta^3 (\rho_\phi - \rho_{жс}) g \sin \alpha. \quad (41)$$

Траекторию движения частиц в потоке жидкости с градиентом скорости можно определить из решения уравнений движения:

$$\left\{ \begin{aligned} \rho_\phi \delta^3 \frac{dv_x}{dt} &= \delta^3 (\rho_\phi - \rho_{жс}) g \sin \alpha + \\ &+ 10,5 \mu_{жс} \left| u_x \left( 1 - \frac{v_{жс}}{\delta u_\phi} + \frac{v_{жс}}{\delta u_\phi} e^{\frac{-u_\phi \delta}{v_{жс}}} \right) - v_x \right| \delta + \\ &+ 0,7 \mu_{жс}^{0,5} \rho_{жс}^{0,5} \delta^{1,5} \left| u_x \left( 1 - e^{\frac{-u_\phi \delta}{v_{жс}}} \right) - v_x \right|^{1,5} + \\ &+ 1,4 \delta^{1,5} \mu_{жс}^{0,5} \rho_{жс}^{0,5} \left| u_x \left( 1 - \frac{v_{жс}}{\delta u_\phi} + \frac{v_{жс}}{\delta u_\phi} e^{\frac{-u_\phi \delta}{v_{жс}}} \right) - v_x \right|^{1,5} \\ \frac{dx}{dt} &= v_x \\ \rho_\phi \delta^3 \frac{dv_y}{dt} &= \delta^3 (\rho_\phi - \rho_{жс}) g \cos \alpha + 10,5 \mu_{жс} |u_\phi - v_y| \delta + \\ &+ 2,74 \rho_{жс}^{0,5} \mu_{жс}^{0,5} |u_\phi - v_y|^{1,5} \delta^{1,5} \\ \frac{dy}{dt} &= v_y \end{aligned} \right. \quad (42)$$

При движении частицы над отверстием поток истекающей жидкости будет стремиться втянуть частицу в отверстие. Если результирующая скорость центра тяжести частицы в момент соприкосновения с противоположной стенкой отверстия направлена таким образом, что линия действия этой результирующей пройдет выше точки А, то возникает момент, вырывающий частицу из отверстия, если ниже точки А, то частица пройдет через перфорированную поверхность.

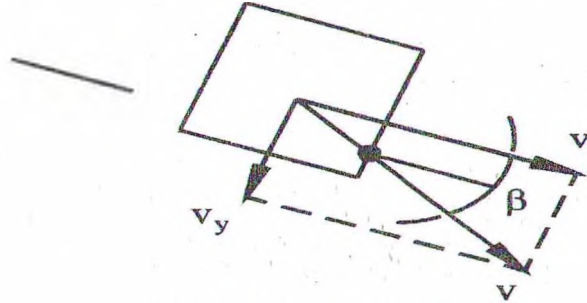


Рис. 2. Схема скоростей

При определении величины граничного зерна расстояние, пройденное частицей, равно  $x = d_{oms} - \frac{\delta}{2}$ . Степень опускания частицы в отверстие определяется углом  $\beta$ :

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\frac{\delta}{2} - y}{\frac{\delta}{2}}. \quad (43)$$

Исходя из вышесформулированного условия прохождения частицы через отверстие перфорации, можно сказать, что частица пройдет через отверстие, если будет соблюдено условие

$$\frac{v_y}{v_x} \leq \operatorname{tg} \beta. \quad (44)$$

Экспериментальные исследования, проведенные нами на линейных грохотах, показали, что полнота отделения мелкой фракции определяется количеством отведенных частиц, размер которых близок к граничному. Поэтому для определения производительности линейного грохота по твердой фазе найдем участок его длины  $x_{zp}$ , на котором частица граничных размеров, находящаяся в верхних слоях пленки, достигнет перфорированного днища. Длину этого участка можно найти, составив систему уравнений движения частицы, аналогичную (42). Полагая, что на этом участке грохота все частицы, которые могут пройти через перфорированную поверхность, будут иметь взаимодействие с последней, используя теорию вероятности, определяем количество отведенной мелкой фракции. Изменение количества твердой фазы в суспензии на участке грохота длиной  $dx$  можно найти по формуле

$$dQ_u = \frac{-Q_u C C_{\delta}^{zp} dx}{x_{zp}}, \quad (45)$$

где  $C_{\delta}^{sp}$  – количество частиц, размер которых меньше граничного;  $C$  – живое сечение перфорированной поверхности.

Все вышеизложенное представляет собой полное математическое описание работы линейного грохота и может служить для расчета данного вида оборудования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Хаппель Дж., Бренкер Г. Гидродинамика при малых числах Рейнольдса. – М.: Мир, 1976. – 631с.
2. Бувечич Ю. А. Сафрай В. М. О движении дисперсной системы в канале с проницаемыми стенками // Инж. физ. журнал. – 1968. Т.15. № 4. – С. 636 – 641.
3. Бокилла Ч. Вопросы теплопередачи в ядерной технике. – М.: Атомиздат, 1961. – 314с.
4. Бронштейн Б. И., Фишбейн Г. А. Гидродинамика, массо- и теплообмен в дисперсных системах. – М.: Химия, 1977. – 280с.
5. Рекин А. Д. Экспериментальное определение коэффициента истечения из канала через перфорированные стенки // Инж. физ. журнал. – 1982. Т.43. № 1. – С. 54 – 58.
6. Ханженков В. И. Сопротивление истечению через отверстия в стенке в присутствии проходящего потока // Промышленная аэродинамика. – М.: Оборонгиз, 1959. – Вып.15. – С. 5 – 19.
7. Левданский Э. И. Разработка газоцентрибежных аппаратов для разделения крупнодисперсных гетерогенных систем. Дис. д.т.н., Львов, 1990. – 397с.
8. А.с. 1510951 СССР. Устройство для разделения суспензий. Левданский Э. И., Кохно Н. П., Плехов И. М., Зайцев А. И., Левданский А. Э. – Оpubл. 1989, Бюл. № 36.
9. Ходаков Г. С. Физика измельчения. – М.: Наука, 1972. – 308с.
10. Коузов П. А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. – М.: Химия, 1971. – 279с.
11. Кашеев В. М., Муранов Ю. В. Движение частиц в пристенной области турбулентного потока газа. – Обнинск: Физ.-энерг. ин-т. – 1979. Репринт № 928. – 53с.
12. Кашеев В. М., Муранов Ю. В. К вопросу о влиянии пульсационных сил Магнуса и ускорения на движение частиц в турбулентном потоке газа // Теплофизика высоких температур. – 1975. Т.13. № 5. – С.48–52.
13. Бусройд Р. Течение газа со взвешенными частицами. – М.: Мир, – 1975. – 384с.
14. Соу С. Гидродинамика многофазных систем. – М.: Мир, – 1971. – 536с.
15. Медников Е. П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей. – М.: Наука, 1981. – 174с.
16. Grift R., Gawin W. Motion of entrained particles in gas stream // Canad. J. Chem. Eng. – 1971. V.49. № 4. – P.439 – 448.
17. Смолдырев Е. А. Трубопроводный транспорт (основы расчета). – М.: Наука, 1980. – 294с.
18. Сакс С. Е. Определение критической скорости взвесенесущего потока // Инж. физ. журнал. – 1970. Т.8. № 5. – С. 832 – 837.
19. Грачев Ю. Г., Хеннер В. К. К вопросу о диспергировании порошков воздушными течениями // Сборник научных трудов Пермского политехнического института. – Пермь, 1972. – № 113. – С. 138 – 144.

20. Грачев Ю. Г., Хеннер В. К., Гришнов А. Л. Исследование процесса отрыва твердых частиц от поверхности под воздействием потока воздуха // Сборник научных трудов Пермского политехнического института. – Пермь, 1973. – № 124. – С. 151 – 157.

21. Соловьев М. И. К вопросу взвешивания и транспортирования зернистого материала в горизонтальном трубопроводе // Инж. физ. журнал. – 1964. Т.7. Вып.10. – С. 62 – 66.

22. Романков П. Г., Курочкина М. И. Гидромеханические процессы химической технологии. – Л.: Химия, 1974. – 228с.

23. Коган В. Б. Теоретические основы типовых процессов химической технологии. – Л.: Химия, 1977. – 591с.

24. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: Наука, 1969. – 743с.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Е. А. Чицова, Л. А. Башкиров, А. И. Клындюк, Г. С. Петров.</b> СТРУКТУРА И НЕКОТОРЫЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $YBaCuFe_{1-x}Ni_xO_5$ .....	3
<b>Л.А. Башкиров, О.А. Чеботарь, И.М. Жарский, Н.Я. Шишкин, Г.С. Петров, Е.М. Некрашевич, Т.К. Соловых, А.И. Акимов.</b> ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СЕГНЕТОМАГНЕТИКА КВАЗИДВОЙНОЙ СИСТЕМЫ $La_{0,75}Sr_{0,25}MnO_3$ - $Ba_{0,999}Ce_{0,001}Ti_{0,9}Sn_{0,1}O_3$ .....	7
<b>Л.А. Башкиров, О.А. Чеботарь, О.И. Курбачев, Г.С. Петров, И.М. Жарский, Н.Я. Шишкин, Е.М. Некрашевич.</b> ФАЗОВЫЙ СОСТАВ, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ КВАЗИДВОЙНОЙ СИСТЕМЫ $La_{0,75}Sr_{0,25}MnO_3$ - $Ba_{0,9}Pb_{0,1}Ti_{1-x}W_xO_3$ .....	13
<b>А.В. Березняцкий, Л.А. Башкиров.</b> КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ, МАГНИТНЫЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ МАНГАНИТОВ $La_{0,75}Sr_{0,25-x}Pb_xMnO_3$ И $La_{0,6}Pb_{0,4-x}Sr_xMnO_3$ .....	19
<b>В.В. Паньков, О.М. Стукалов, Л.И. Куницкий, С.В. Смоленчук.</b> ТОНКОПЛЕНОЧНАЯ РЕАКЦИЯ МЕЖДУ $BaFe_2O_4$ И (0001) $\alpha$ - $Fe_2O_3$ .....	24
<b>В.В. Паньков, П. Стробель, Л. И. Куницкий.</b> СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ГОМОГЕННОГО ПО СОСТАВУ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ОКСИДНОГО СВЕРХПРОВОДНИКА $(Bi,Pb)_2Sr_2Ca_2Cu_3O_x$ .....	27
<b>В.В. Паньков, В.П. Новиков, К.И. Янушкевич, В.И. Сорока.</b> СИНТЕЗ НАНОДИСПЕРСНЫХ АМОРФНЫХ ПОРОШКОВ ЖЕЛЕЗА И ЕГО ОКСИДА.....	32
<b>В.В. Паньков, В.В. Карпович, С.В. Козлов, Л.И. Куницкий.</b> ПРОЦЕССЫ ВНУТРЕННЕГО ОКИСЛЕНИЯ В ТВЕРДЫХ РАСТВОРАХ $(Ni,Zn,Fe)O$ .....	36