

*А.Н. ИВАНОВ*, докт. техн. наук,

*А.Ю. ЧУДНЫЙ*, канд. техн. наук, ХГТУСА

## **СТРУКТУРЫ ПОТОКОВ ПРИ ПОДАЧЕ КРУПКИ В ТРУБНЫЕ МЕЛЬНИЦЫ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА**

Наведені результати теоретичних досліджень руху двофазових супутних потоків при пневмотранспорті крупної фракції матеріалу після сепаратора на задані ділянки першої камери трубних цементних млинів з метою подальшого створення математичної моделі для розрахунку основних параметрів польоту крупки у вільному від мелючого завантаження просторі трубного млина.

The results of theoretical researches of motion of diphasic passing streams are given at air lift of large faction of material after a separator on the set areas of the first chamber of tube cement mills of the reserved cycle with the purpose of subsequent creation of mathematical model for the calculation of basic parameters of flight of grit in free of the grinding loading space of tube mill.

Ранее была доказана целесообразность и возможность вдува крупки после сепаратора на тот участок первой камеры трубной мельницы, где согласно диаграмме помола находится наибольшее количество материала той же крупности, что и крупка [1 – 3].

Струя крупки является двухфазным турбулентным потоком, спутным двухфазному аспирационному потоку.

Кроме этих двух воздушных потоков в мельнице ещё имеются два поперечных встречных циркуляционных потока от вращения барабана мельницы и от движения мелющей загрузки.

В результате взаимодействия всех этих потоков в свободном от мелющей загрузки пространстве мельницы получается сложная аэродинамическая обстановка, от которой во многом зависит эффективность работы мельницы.

Цель статьи – рассмотреть эти потоки для дальнейшего определения их влияния на форму и траекторию струи крупки.

О циркуляционных турбулентных течениях известно очень мало.

Считая течение плоским, выбираем систему координат в плоскости циркуляции.

С целью упрощения рассмотрим каскадный режим работы шаров, который имеет место на участке, равном длине загрузочной крышки. В силу того, что поперечное сечение барабана заполнено загрузкой на  $j = 25 - 30\%$ , то

свободным остается сегмент, площадь которого можно определить по известным формулам.

Высоту сегмента  $h$  (рис. 1) можно определить как  $h = \frac{2jR + 27R}{127}$ . Для водопадного режима работы определение площади свободного от мелющей загрузки поперечного сечения мельницы дано в работе [3].

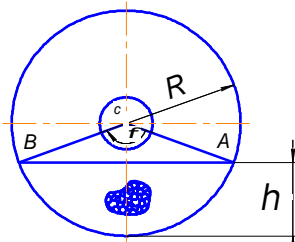


Рис. 1. Расчётная схема для каскадного режима

Рассмотрим циркуляционное течение, которое реализуется в области, имеющей форму сегмента с высотой  $\tilde{h} \approx 0,75D$  при  $j = 0,25$ , где  $D$  – диаметр барабана и вообще  $\tilde{h} = D - h$ . Это течение является турбулентным. Оно должно удовлетворять граничным условиям и условию равенства нулю расхода, а также уравнениям турбулентного движения в форме Рейнольдса.

При наличии условий на границах и для расхода профиль средних значений скорости мало чувствителен к виду уравнений течения; т.е., в основном, профиль средней скорости определяется условиями, а не уравнением. Преимуществом такого подхода является отсутствие необходимости привлечения гипотез замыкания цепочки уравнений движения.

Исходя из сказанного, выберем простейший профиль циркуляционного течения для прямоугольной области, которой мы заменили сегмент. Будем считать, что на верхней границе задана скорость  $V_{e1}$ , а на нижней – скорость  $V_{e2}$ . Ситуация представлена на рис. 2.

Простейший профиль, описывающий двухвихревую структуру в поперечном течении имеет вид:  $w_x(j) = ay^2 + by + c$ ;  $w_x(0) = V_{e1}$ ;  $w_x(\tilde{h}) = V_{e2}$ .

Условие равенства расхода (условие замкнутости циркуляции):

$$\int_0^{\tilde{h}} w_x(j) dy = 0, \text{ где } \tilde{h} \text{ – высота прямоугольника, эквивалентного сегменту.}$$

Определение постоянных  $a$ ,  $b$ ,  $c$  тривиально; поэтому, опуская детали,

запишем результат в таком виде:

$$w_x(j) = 3(V_{e1} + V_{e2})x^2 - 2(V_{e2} + 2V_{e1})x + V_{e1}, \quad (1)$$

где  $x \equiv \frac{y}{\tilde{h}}$ .

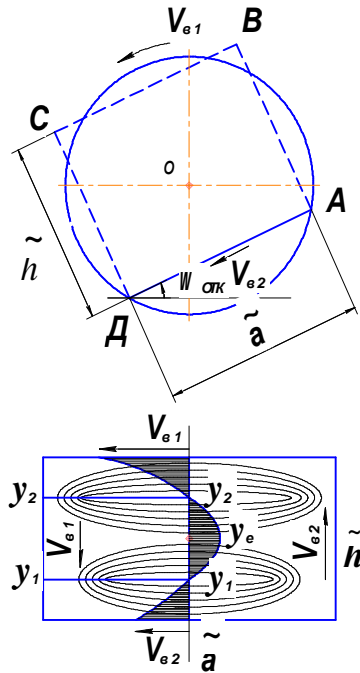


Рис. 2. Схема профиля циркуляционных потоков

Аналогичный вид будет иметь и профиль скорости  $w_y(x)$  для пары вертикальных границ прямоугольника (рис. 2), но с другими граничными условиями. Эти условия следующие:  $w_y(x=0)=0$ ;  $w_y(x=\tilde{a})=0$ ;

$$\int_0^{\frac{\tilde{a}}{2}} w_y dx = \int_{y_2}^{\tilde{h}} w_x dy; \quad \int_0^{\frac{\tilde{a}}{2}} w_y dx = \int_0^{y_1} w_x dy, \quad (2)$$

где  $\tilde{a}$  – длина прямоугольника, эквивалентного сегменту.

Таким образом, для определения профиля  $w_y(x)$  необходимо знать величины  $y_1, y_2$  и  $y_m$  - положение нулей и экстремума профиля  $w_x(j)$ . Их легко найти из выражения (1). Будем иметь для  $y_1, y_2$  и  $y_m$  такие выражения:

$$x_{1,2} = \frac{1}{3} \frac{V_{e2} + 2V_{e1}}{V_{e1} + V_{e2}} \pm \sqrt{\frac{1}{9} \left( \frac{V_{e2} + 2V_{e1}}{V_{e1} + V_{e2}} \right)^2 - \frac{V_{e1}}{3(V_{e1} + V_{e2})}};$$

$$x_m = \frac{1}{3} \frac{V_{e2} + 2V_{e1}}{V_{e1} + V_{e2}}; \quad x_1 < x_m < x_2. \quad (3)$$

Теперь следует определиться с величинами  $\tilde{h}$ ,  $\tilde{a}$ ,  $V_{e1}$  и  $V_{e2}$ . Для сторон прямоугольника, эквивалентного сегменту  $h$  можно потребовать таких условий: длина эквивалентного прямоугольника равна длине верхнего слоя шаров (хорде сегмента, заполненного шарами); высота прямоугольника равна длине дуги сечения области свободного пространства минус половину длины хорды. Это объясняется тем, что если известна одна из сторон прямоугольника и нужно найти вторую сторону, то мы можем поступить двумя способами: площадь прямоугольника должна быть равна площади свободного сечения  $S_D = a \cdot X$ , отсюда  $X = \frac{S_D}{a}$ .

Периметр прямоугольника должен быть равен периметру свободного пространства.  $2(\tilde{a} + X) = P_D$ ; отсюда  $X = \frac{P_D}{2} - \tilde{a}$ ;  $X = \tilde{h}$ .

Выбираем второй вариант потому, что в гидроаэродинамике длина границ области течения сильнее влияет на формирование потока, чем площадь поперечного сечения области течения. Длина дуги равна:

$$l_D = 2pR - 2R \arccos \frac{R-h}{R}, \quad (4)$$

а периметр сечения равен сумме длин хорды и дуги, т.е.:

$$P_D = 2pR - 2R \arccos \frac{R-h}{R} + 2\sqrt{2Rh - h^2} \quad (5)$$

Отсюда для величин  $\tilde{h}$  и  $\tilde{a}$  получаем такие соотношения:

$$\tilde{a} = 2\sqrt{2Rh - h^2}; \quad \tilde{h} = pR - R \arccos \frac{R-h}{R}, \quad (6)$$

решение которых приводит к таким значениям  $\tilde{a}$  и  $\tilde{h}$ : после подстановки  $h = 0,5R$  имеем  $\tilde{a} = 1,7R$ ,  $\tilde{h} = 1,15R$ . Перейдём к определению скоростей  $V_{e1}$  и  $V_{e2}$ . Для  $V_{e1}$  справедливо выражение:  $V_{e1} = pDn$ , где  $n$  – частота вращения барабана. Определение скорости  $V_{e2}$  связано с усреднением по времени скатывания верхнего слоя шаров при превышении их засыпкой угла естественного откоса. Если этот угол естественного откоса обозначить через  $j_{отк}$ , то ускорение шаров при скатывании их будет равно величине  $g \sin j_{отк} - fg \cos j_{отк}$ . Учитывая, что длина пути скатывания составляет величину, равную  $2\sqrt{2Rh - h^2}$ , а  $f$  и  $g$  – коэффициент трения в слое шаров и ускорение свободного падения соответственно, получим для значения скорости  $V_{e2}$  такое выражение:

$$V_{e2} = \sqrt{3,5R(g \sin j_{отк} - fg \cos j_{отк})}$$

В случае водопадного режима работы задача несколько усложняется из-за того, что траектория падения шаров представляет параболу и связанные с этим особенности оформления эквивалентной площади надо рассматривать с учётом приведенных в работе [4] зависимостей.

Трубошnek, через который проходит аспирационный воздух имеет размер свободного пространства по величине близкий к одной трети величины характерного размера свободного пространства барабана. Следовательно, входную цапфу, свободное пространство барабана и выходную цапфу можно заменить системой в виде трубопровода, показанной на рис. 3.

Длина широкого участка трубопровода равна длине барабана. При движении потока в таком трубопроводе возникает ситуация с расширением и сужением потока, как показано на рис. 3. В углах возникают вихревые зоны. Размеры этих вихревых зон плохо поддаются расчету. По данным ряда авторов соотношение длины отрывной зоны  $L$  к высоте расширения при больших значениях числа  $Re$  равно:

$$\frac{L}{H_1} \approx 1,3 \frac{H_2}{H_1 - 1} . \quad (8)$$

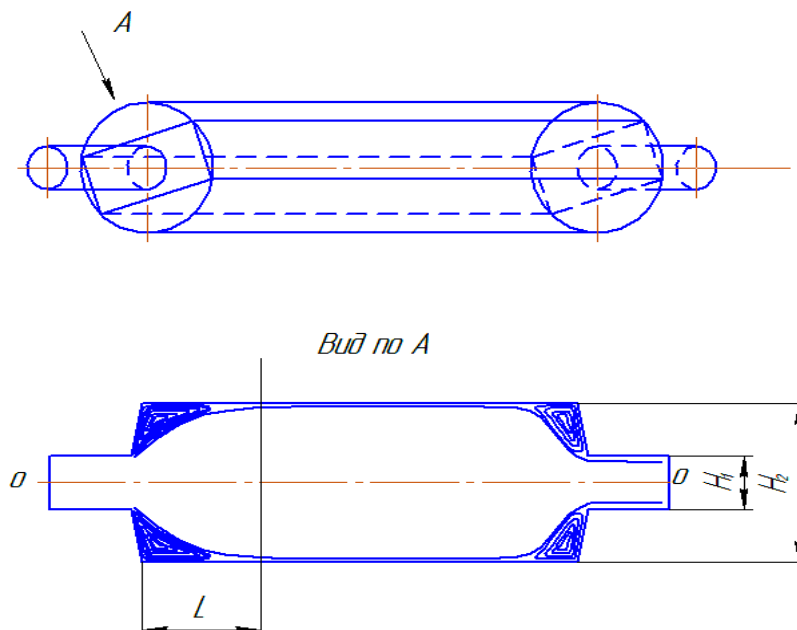


Рис. 3. Схема продольного течения аспирационного потока

Проведенный анализ имеющихся в трубной мельнице циркуляционных поперечных потоков и продольного аспирационного потока позволит определить их влияние на изменение формы и траектории полёта двухфазной струи крупки после сепаратора на заданные участки первой камеры трубных цементных мельниц замкнутого цикла с целью последующего создания математической модели для расчёта основных параметров полёта крупки в свободном от мелющей загрузки пространстве трубной мельницы, чему и будут посвящены последующие наши работы.

**Список литературы:** 1. А.с. 1079288 SU, B02C 19/00. Способ помола цемента. / [А.А. Молодцов, В.А. Чурюмов, К.Ф. Матвиенко и др. (СССР)] – № 3556489/29-33; Заявл. 22.02.83; Опубл. 15.03.84, Бюл. № 10. – 4 с. 2. Иванов А.Н. Интенсификация работы трубных мельниц замкнутого цикла / А.Н. Иванов, А.Ю. Чудный. // Вестник НТУ “ХПИ”. – Харьков: 2004, № 29. – С. 104 – 112. 3. Иванов А.М. Теоретичне обґрунтування можливості пневмоподачі крупки у трубні млини / А.М. Иванов, О.Ю. Чудний. // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: 2007, – № 1. – С. 63 – 70. 4. Иванов А.Н. К расчёту аэродинамики барабанных мельниц. / А.Н. Иванов. // Научный Вестник ХДТУБА. – Харьков: 2002, № 19. – С. 136 – 140.

Поступила в редколлегию 21.04.09