

нительный член $-ndD/dx$, появившийся за счет отличной от экспоненциальной зависимости коэффициента диффузии от энергии. Не следует думать, что для твердых тел следует использовать только уравнение Вагнера-1 (8). Если рассматриваются свободные (или почти свободные) частицы, например электроны в твердом теле, то для них будет справедливо выражение (12), а вот для перескакивающих ионов – (8).

УДК 666.961

О.А. Петров, аспирант; А.М. Волк, доцент; П.Е. Вайтехович, доцент

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КАВЕРНЫ В КАВИТАЦИОННОМ АППАРАТЕ

The simulator for cavity parameters calculation in the cavitation dispersant is elaborated. The length and diameter depending on constructive and technological parameters is computed. This simulator represent of real process in cavitation devices.

Экспериментальные исследования [1] показали высокую эффективность процесса разрушения твердых материалов под воздействием кавитации. Наиболее эффективным является использование кавитации при распушке волокнистых материалов, в частности асбеста. Комплекс экспериментальных исследований, проведенных авторами [2,3], позволил определить основные технологические параметры и выбрать оптимальную конструкцию кавитатора.

Для разработки конструкции и проектирования кавитационной установки в целом необходимо знать параметры каверны, ее диаметр и длину. Данные параметры определяют размеры трубопровода после обтекателя. Размеры каверны можно определить на основе анализа гидродинамики потока в кавитаторе. Движение жидкости в нем можно считать двумерным. Полная скорость складывается из двух составляющих: осевой и радиальной. Построим математическую модель движения жидкости в кавитаторе. Рассмотрим сечения (0 – 0) до кавитатора, (1 – 1) в плоскости обтекателя и (2 – 2) в произвольной точке по длине каверны (рис.1). Скорость и давление на данных участках связаны между собой уравнением Бернулли [4]

$$p_0 + \rho \cdot \frac{v_0^2}{2} = p_1 + \rho \cdot (1 + \xi_1) \cdot \frac{v_1^2}{2} = p_2 + \rho \cdot (1 + \xi_2) \cdot \frac{v_2^2}{2}. \quad (1)$$

Коэффициент гидравлического сопротивления ξ_1 складывается из четырех составляющих, характеризующих потери напора в конфузоре $\xi_{\text{кон}}$, в цилиндрической части $\xi_{\text{ц}}$, в диффузоре $\xi_{\text{д}}$ и в конусе-обтекателе $\xi_{\text{конм}}$. Эти составляющие можно рассчитать по формулам, полученным на основе экспериментальных данных [1].

Для конфузора

$$\xi_{\text{кон}} = \frac{\lambda}{4} \cdot \frac{L_K}{d_0} \cdot \frac{(n+1) \cdot (\sqrt{n}+1)}{n^2} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{d_0}{L_K}\right)^2 \cdot \left(\frac{\sqrt{n}-1}{2}\right)^2}, \quad (2)$$

где n – коэффициент поджатия конфузора, L_K – его длина, λ – коэффициент трения, зависящий от числа Рейнольдса и шероховатости.

Для цилиндрического участка

$$\xi_{\dots} = \lambda \cdot \frac{L_0}{d_0} \quad (3)$$

Для диффузора

$$\xi_{\text{Б}} = \left[\frac{\lambda}{8 \cdot \gamma} \cdot \frac{n_1^2 - 1}{n_1^2} + \frac{(n_1 - 1)^2}{2 \cdot n_1^2 \cdot \gamma} \right], \quad (4)$$

где n_1 – раскрытие диффузора, γ – угол раскрытия в рассчитываемом сечении.

Коэффициент гидравлического сопротивления конуса-обтекателя находится по графическим зависимостям, приведенным в работе [1].

Коэффициент потерь напора по длине трубопровода ξ_2 определяется по формуле Блаузиуса [5]

$$\xi = \lambda \cdot \frac{L}{d_{\text{Тм}}} = 0,3164 \cdot Re^{-\frac{1}{4}} \cdot \frac{L}{d_{\text{Тм}}}. \quad (5)$$

Уравнение неразрывности запишем в форме $v_0 \cdot S_0 = v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2$.

Рассмотрим элементарный объем жидкости в сечении (2 - 2) каверны на участке длиной dz . Составим уравнение изменения кинетической энергии в радиальном направлении для элементарного объема dV . Движущими силами являются поверхностное натяжение σ и разность между давлениями в потоке и полости каверны $p_2 - p_k$ [6]:

$$dm \cdot \frac{v_r^2}{2} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \sigma \cdot dz + (p_2 - p_k) \cdot dV. \quad (6)$$

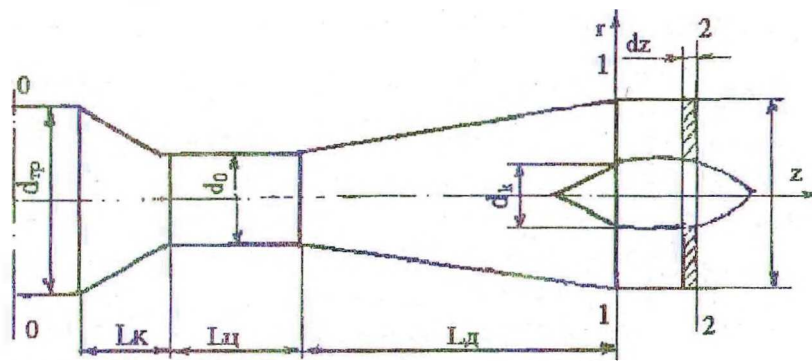


Рис. 1. Расчетная схема кавитатора

Элементарная масса dm равна произведению плотности ρ на элементарный объем $dm = \rho \cdot dV = \rho \cdot Q \cdot dt$. Здесь $dV = Q \cdot dt$, где Q – объемный расход.

Тогда уравнение (6) примет вид

$$\rho \cdot Q \cdot \frac{v_r^2}{2} \cdot dt = 2\pi \cdot r \cdot \sigma \cdot dz + (p_2 - p_k) \cdot Q \cdot dt. \quad (7)$$

Делим на $\rho \cdot Q \cdot dt$ и получаем

$$\frac{v_r^2}{2} = \frac{2\pi \cdot r \cdot \sigma}{\rho \cdot Q} \cdot \frac{dz}{dt} + \frac{p_2 - p_k}{\rho} \quad (8)$$

На основании составленного уравнения изменения кинетической энергии в радиальном направлении для объема dV , воспользовавшись уравнением Бернулли для потока жидкости и уравнением неразрывности, получим систему дифференциальных уравнений для расчета параметров каверны

$$\begin{cases} \frac{dr}{dt} = v_r \\ \frac{dz}{dt} = v_z \\ v_r = -\sqrt{\frac{2\pi \cdot r \cdot \sigma}{\rho \cdot Q} \cdot \frac{dz}{dt} + \frac{2 \cdot (p_2 - p_k)}{\rho}} \\ v_z = \frac{4Q}{\pi \cdot (d_{ТМ}^2 - 4 \cdot r^2)} \end{cases} \quad (9)$$

С использованием пакета программ «Mathcad» по уравнениям (9) проведен расчет длины и радиуса каверны. Начальные условия при этом принимались следующие: $z=0$, $r=8$ мм (радиус конуса-обтекателя). Осевая скорость в начале отсчета принималась равной v_1 , а радиальная рассчитывалась из условия $v_r = v_z \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2)$, где α - угол при вершине конуса-обтекателя.

На рис.2 показано изменение радиуса и длины каверны по длине трубопровода при расходе жидкости в аппарате $Q=10$ м³/ч и скорости течения в трубопроводе $v_0 = 2.89$ м/с. Полученные графики реально отражают форму каверны и позволяют наглядно проследить изменение ее размеров.

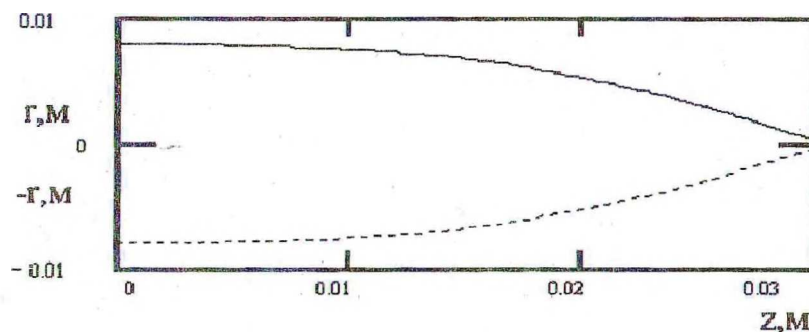


Рис.2. Форма каверны по длине трубопровода

Проведенные расчеты показывают, что математическая модель реально отражает процессы, происходящие в кавитаторе, и дает возможность с достаточной точностью рассчитать размеры каверны для последующего проектирования установки в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федоткин И.М., Немчин А.Ф. Использование кавитации в технологических процессах. - Киев: Высш. шк., 1986. - 47 с.

2. Вайтехович П.Е., Круглов И.И. Исследование влияния кавитации на процесс распушки асбеста // Труды БГТУ. Серия III. Вып. VII. 1999.-С. 38 - 44.
3. Вайтехович П.Е., Петров О.А. Исследование и оптимизация гидродинамических кавитационных диспергаторов // Труды БГТУ. Серия III. Вып. VIII. 2000.-С. 237 -244.
4. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. - М.: Наука, 1987. - 840 с.
5. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. - М.: Наука, 1969. - 742 с.
6. Адамсон А.У. Физическая химия поверхностей. - М.: Мир, 1979. - 568 с.

УДК 691.002.5;666.1/9

В. С. Францкевич, аспирант; П. Е. Вайтехович, доцент

ОПТИМИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛА ПО РАЗМОЛЬНОЙ ТАРЕЛКЕ СРЕДНЕХОДНОЙ МЕЛЬНИЦЫ

The analyzed equations of solid particle motion the rotary plate. The specified of the speed quantity and her direction on the exit from plate. The ascertainment of the conditions materials hit under the roller.

В настоящее время процесс измельчения широко применяется практически во всех отраслях народного хозяйства. От качества измельчения во многом зависит качество готового продукта. Основными агрегатами для помола в промышленности строительных материалов пока что остаются шаровые барабанные мельницы. Расход энергии в них на помол материалов очень высок (35-50 кВт ч/т), и его снижение является весьма актуальной задачей в настоящее время [1].

За рубежом был осуществлен переход к принципиально новым конструкциям мельниц. Наиболее перспективными являются среднеходные. В отличие от шаровых, в которых измельчение происходит за счет удара мелющего шара при падении под действием силы тяжести, в среднеходных мельницах помол осуществляется путем раздавливания и истирания материала между металлическими телами – валком и столом [2].

Процесс помола в среднеходных мельницах изучен пока недостаточно, что сдерживает их практическое применение. На основе экспериментальных данных определены только некоторые технологические параметры и соотношения геометрических размеров [2,3]. Рассмотрены также отдельные моменты движения материала по тарелке [4]. Однако эти экспериментальные и теоретические работы не дают возможности провести комплексный расчет помольного агрегата и оптимизировать его параметры. В частности, до настоящего времени не решена задача определения необходимого количества валков и не найден достаточно точный метод определения скорости частицы на выходе с тарелки.

Анализ математической модели [4] показывает, что она применима для решения этих задач. Число валков можно определить из условия гарантированного попадания частицы под валок. Это означает, что за время поворота тарелки от одного валка к другому частица должна переместиться из пункта А в пункт Б (рис.1), т.е. в радиальном направлении пройти расстояние, не превышающее ширины валка. Величина полной скорости и ее направление на выходе с тарелки важны для выноса материала в сепарационную зону и предотвращения провала под тарелку.