

производится расчет. Вследствие этого теоретическое значение производительности, полученное по данной методике, по сравнению с методиками, предложенными авторами [1–2], отличается значительно более высокой точностью, и отклонения значений по сравнению с практической производительностью составляли 5–10%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хинт И.А. Основы производства силикальцитных изделий. – М.: Госстройиздат, 1962. – 601 с.
2. Лапшин В.В., Козловский А.З. Расчет производительности дезинтегратора с плоскими ударными элементами // Разработка теории и конструктивного оформления машин и аппаратов интенсивных действий с участием зернистых материалов. – Иваново, 1984. – С. 31–32.
3. Калицун В.И., Дроздов Е.В. Основы гидравлики и аэродинамики. – М.: Стройиздат, 1980. – 247 с.
4. Хавкин Л.М. Технология силикатного кирпича. – М.: Стройиздат, 1982. – 384 с.
5. Животновский Л.С., Смойловская Л.А. Лопастные насосы для абразивных гидросмесей. – М.: Машиностроение, 1978. – 223 с.
6. Овсянников Б.В. Высокооборотные лопаточные насосы. – М.: Машиностроение, 1985. – 346 с.
7. Зенков Р.Л. Машины непрерывного транспорта. – М.: Машиностроение, 1987. – 432 с.
8. Клячко Л.С., Одельский Э.Х., Хрусталева Б.М. Пневматический транспорт сыпучих материалов. – Мн.: Наука и техника, 1983. – 216 с.
9. Малис А.Я. Пневматический транспорт сыпучих материалов при высоких концентрациях. – М.: Машиностроение, 1969. – 177 с.
10. Бусроид Р. Течение газа со взвешенными частицами. – М.: Мир, 1975. – 378 с.
11. Соломахова Т.С. и др. Центробежные вентиляторы. – М.: Машиностроение, 1975. – 416 с.
12. Медников Е.П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей. – М.: Наука, 1980. – 324 с.

УДК 621.926.3

В.С. Францкевич, аспирант

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ ГАЗА В СЕПАРАЦИОННОЙ ЗОНЕ ВАЛКОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

In the given article the results of researches by definition of distribution of speed of gas in separation zone of a bowl mill are described. As a result of researches the character of change of axial and tangential speed, both on radius, and on an altitude of a mill is established. For comparison the data are received for an axial and twisted flow. The equations describing motion of a flow in a ring backlash of a mill, necessary for calculation of a trajectory of motion of a material are received.

Среднеходные валковые мельницы являются одним из перспективных помольных агрегатов и могут найти широкое применение в химической промышленности и промышленности строительных материалов. Неоспоримыми их преимуществами по сравнению с шаровыми являются меньшая металлоемкость и значительно меньшие энергозатраты на помол [1, 2].

Широкое внедрение валковых мельниц в производство сдерживается отсутствием надежных методов расчета. Авторами проведен ряд исследований по изучению движения материала в мельнице. Так, в работе [3] рассмотрено движение одиночной частицы по размольной тарелке. Составлена система дифференциальных уравнений движения, при решении которой определены скорость и направление движения твердых частиц на выходе с тарелки. Используя эти уравнения, можно определить оптимальную скорость вращения тарелки для того, чтобы материал гарантированно попал под катки.

Следующей важной задачей для валковых мельниц является предотвращение провала размолотого продукта под тарелку. Это можно обеспечить гарантированным выносом твердых частиц газовым потоком из кольцевого зазора между тарелкой и корпусом. Первые опыты, проведенные при осевой подаче газа в мельницу, показали, что практически невозможно обеспечить равномерное распределение газа по кольцевому зазору. В некоторых зонах скорость газа меньше скорости витания, и частицы проваливаются под тарелку. Поэтому был осуществлен переход на тангенциальный ввод газа, при котором обеспечивается более равномерное его распределение.

Для определения скорости и направления движения частиц над тарелкой была использована математическая модель, описывающая движение одиночной частицы в закрученном газовом потоке [4]. Уравнения движения имеют вид:

$$\begin{cases} m \cdot \left(\frac{dU_r}{d\tau} - \frac{U_\tau^2}{R} \right) = F_g^r \\ m \cdot \left(\frac{dU_\tau}{d\tau} - \frac{2 \cdot U_r \cdot U_\tau}{R} \right) = F_g^\varphi, \\ m \frac{dU_z}{d\tau} = F_g^z - G \end{cases} \quad (1)$$

где U_r, U_τ, U_z — соответственно радиальная, тангенциальная и осевая скорости движения частицы в кольцевом зазоре; $F_g^r, F_g^\varphi, F_g^z$ — проекции внешних сил на соответствующие оси.

На первом этапе для предварительных расчетов осевая скорость газового потока принималась равной среднерасходной, а тангенциальная рассчитывалась по формуле

$$W_\tau = W_z \cdot \operatorname{tg} \gamma, \quad (2)$$

где γ — угол закрутки потока газа.

Однако для точного расчета параметров движения частицы необходимо знать реальное распределение осевой и тангенциальной скоростей как в кольцевом зазоре, так и в сепарационной зоне над тарелкой.

Для определения влияния закрученного потока на характер движения материала измерение полей скоростей и статического давления проводилось на лабораторной валковой мельнице (диаметр корпуса 250 мм) при осевой и тангенциальной подаче газа цилиндрическим трехканальным зондом по методике, описанной в специальной литературе [5]. Причем замеры проводились в трех сечениях (рис. 1) по высоте мельницы через каждые 5 мм по радиусу. Сечения выбирались на высоте 10 мм, 155 мм, 425 мм от тарелки.

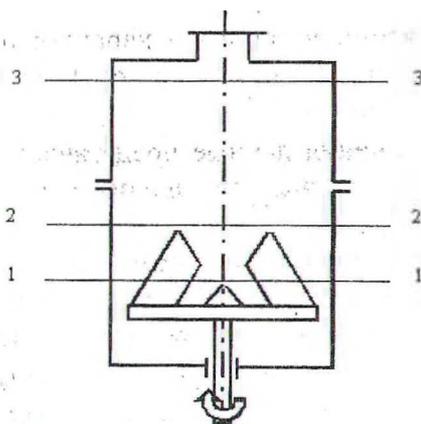


Рис. 1. Схема измеряемых сечений

Скорость газа в каждой точке рассчитывалась по формуле

$$W = \sqrt{\frac{2 \cdot P \cdot k_1 \cdot \rho_1}{(k_u - k_b) \cdot \rho_2}} \quad (3)$$

где P — показания микроманометра, соединенного с центральным и боковым отверстиями; k_1 — масштаб микроманометра; ρ_1 — плотность залитой в микроманометр жидкости, кг/м^3 ; k_u — поправочный коэффициент центрального отверстия; k_b — поправочный коэффициент бокового отверстия; ρ_2 — плотность газа, кг/м^3 .

Значения поправочных коэффициентов, полученные при тарировке зонда в аэродинамической трубе, составляют $k_u = 1$; $k_u - k_b = 1,76$.

По величине полной скорости потока W и углу отклонения его от осевого направления λ рассчитывались осевая

$$W_z = W \cdot \cos \lambda \quad (4)$$

и тангенциальная

$$W_\tau = W \cdot \sin \lambda \quad (5)$$

составляющие скорости.

Обычно для аналитических решений удобнее пользоваться безразмерными значениями, поэтому скорости, давление, геометрические параметры выражаются в относительных величинах. Нами в качестве масштаба использовались среднерасходная скорость газа в мельнице W_{cp} и радиус мельницы R . Тогда относительные осевая и тангенциальная скорости выражаются формулами:

$$\bar{W}_z = \frac{W_z}{W_{cp}}, \quad (6)$$

Относительный радиус:

$$\bar{r} = \frac{r}{R}. \quad (7)$$

В результате исследований установлен характер изменения осевой и тангенциальной скоростей как по радиусу, так и по высоте мельницы. Распределение осевой скорости по радиусу корпуса мельницы в трех сечениях показано на рис. 2, а тангенциальной – на рис. 3. Для сравнения данные представлены для осевого и закрученного потоков, но так как целью работы является анализ движения закрученного потока газа, то подробнее остановимся на нем.

На основе полученных зависимостей можно сделать вывод о существовании по высоте мельницы двух областей течения: области формирования закрученного потока и области относительно стабилизированного течения. Область формирования потока находится непосредственно на входе в мельницу и над тарелкой. Сечение 1–1 характеризуется неравномерным движением потока, скачками скорости. В центре мельницы над тарелкой обнаружена обширная зона обратных токов, причем ее диаметр составляет 0,5 от диаметра корпуса мельницы. При удалении от центра осевая и тангенциальная скорости возрастают до максимального значения в области кольцевого зазора, а затем резко уменьшаются до нуля возле стенки. Причем необходимо заметить, что максимальные их значения превышают среднерасходную скорость во много раз.

В сечении 2–2 (над размольными вальками) поведение потока существенно меняется. Осевая скорость достигает своего максимума в центре мельницы и в центре кольцевого зазора, а между этими областями она вообще равна нулю. Что касается тангенциальной составляющей, то она, как и прежде, достигает своего максимального значения в центре кольцевого зазора, а в области тарелки равна нулю. Анализ показывает, что газовый поток в этом сечении разделяется на две зоны: в центре преобладает осевой, а на периферии – закрученный.

В области стабилизированного течения (сечение 3–3) изменение осевой и тангенциальной скоростей более плавное. По высоте мельницы тангенциальная скорость с удалением от тарелки уменьшается, что свидетельствует о затухании закрутки потока. Максимум ее смещается к центру.

Изучение распределения скоростей показало сложность структуры потока в валковой среднеходной мельнице. В области формирования потока (над тарелкой) скорости движение газа по всему сечению довольно трудно описать даже эмпирическими уравнениями. Однако для решения математической модели, описывающей движение частицы в кольцевом зазоре мельницы, необходимо знать значения скоростей только в самом зазоре. Этот участок с достаточно высокой точностью (97%) описывается следующими уравнениями:

$$\bar{W}_r = 3 + 901,2 \cdot (\bar{r})^2 + 121,8 \cdot (\bar{r})^{0,5}, \quad (8)$$

$$\bar{W}_z = 2 - 522 \cdot (\bar{r})^2 + 57,9 \cdot (\bar{r})^{0,5}. \quad (9)$$

Таким образом, рассчитав осевую и тангенциальную скорости в каждом пункте по уравнениям (8, 9) и подставив их в систему (1), мы сможем с высокой точностью определить скорость движения и местонахождение твердых частиц.

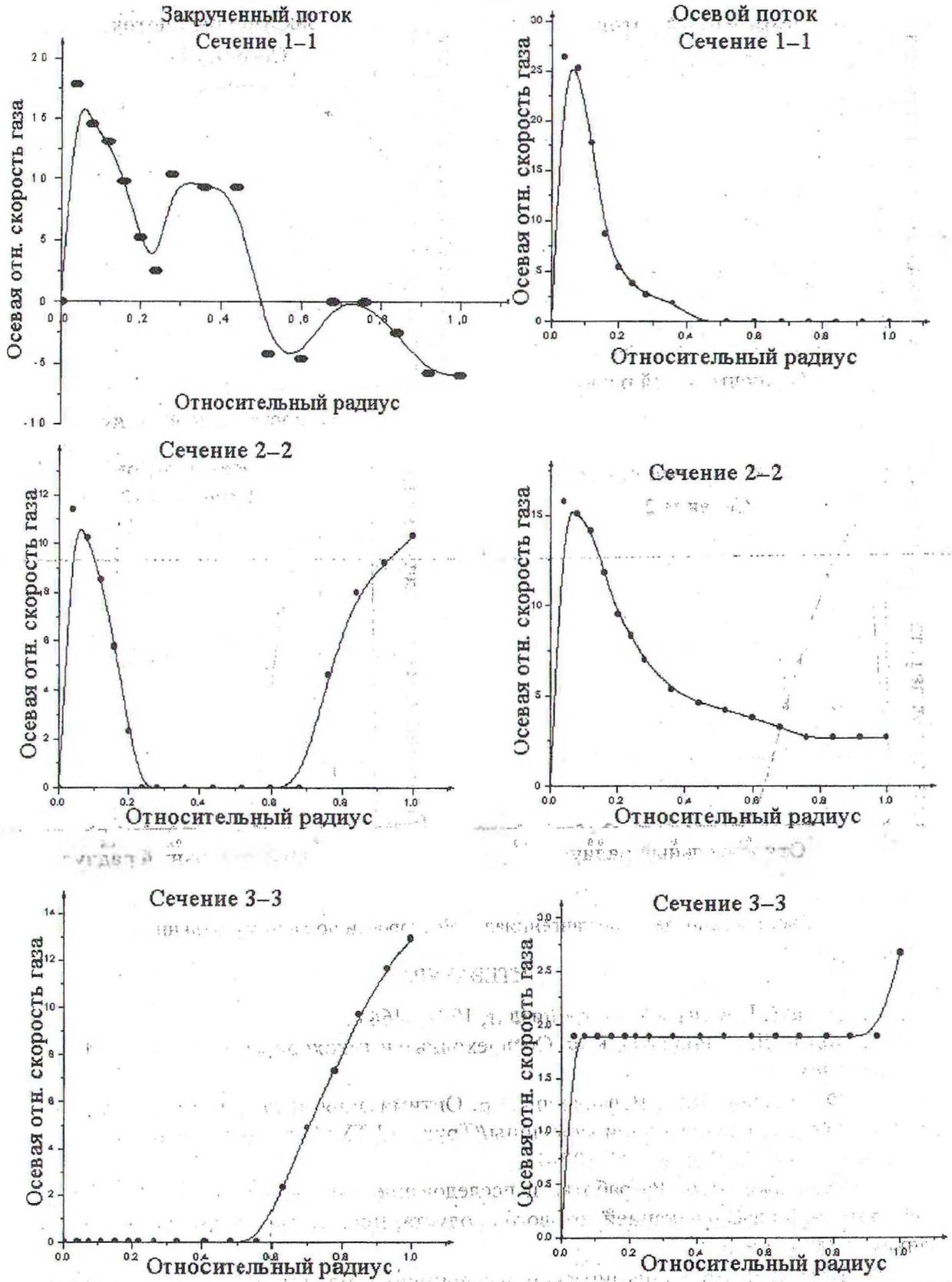


Рис. 2. Распределение осевой скорости по радиусу мельницы

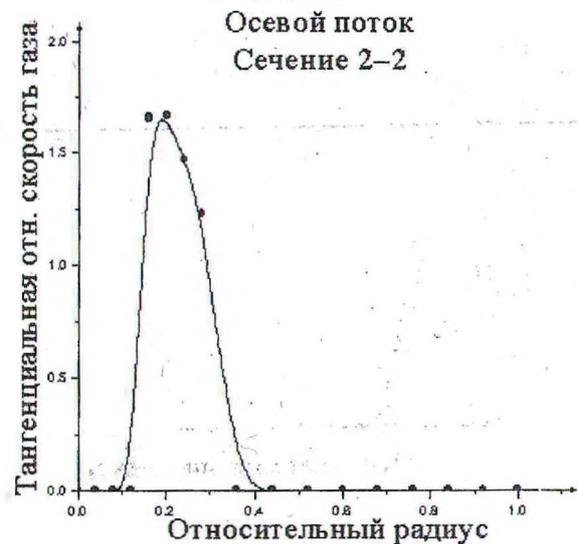
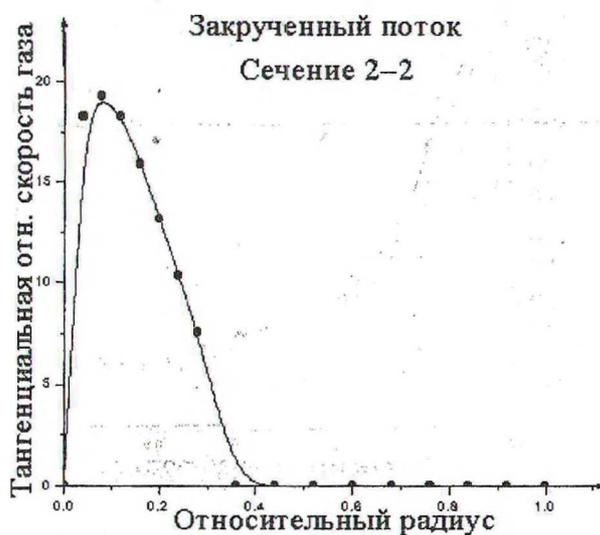
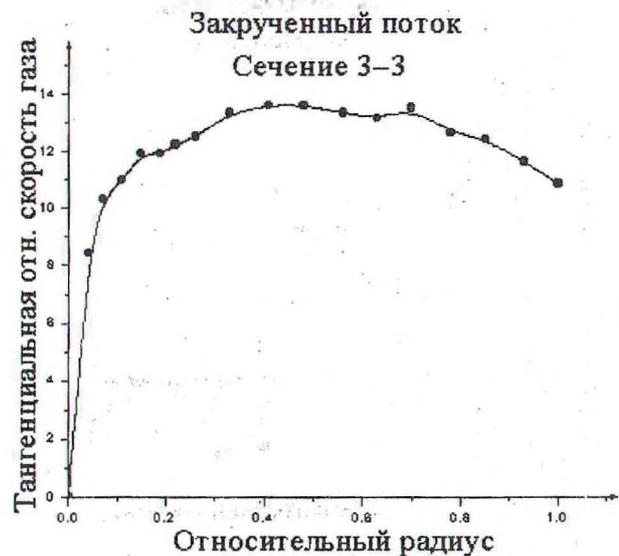


Рис. 3. Распределение тангенциальной скорости по радиусу мельницы

ЛИТЕРАТУРА

1. Дуда В. Цемент. –М.: Стройиздат, 1981.–464 с.
2. Летин Л.А., Родатис К.Ф. Среднеходные и тихоходные мельницы. –М.: Энергоиздат, 1981.–360 с.
3. Франкевич В.С., Вайтехович П.Е. Оптимизация движения материала по размольной тарелке среднеходной мельницы//Труды БГТУ. Сер. химии и технологии неорган. в-в. – 2001. – Вып.9. – С. 109–113.
4. Гарабажиу А.А. Разработка и исследование вихревой мельницы с непрерывной проточной классификацией готового продукта: Дис. ... канд. техн. наук: 15.07.08. – Минск, 2000. – 206 с.
5. Повх И.Л. Аэродинамический эксперимент в машиностроении. –Л.: Машиностроение, 1974. – 480 с.