

В.И. Козловский, доц., канд. техн. наук;
О.А. Петров, доц., канд. техн. наук; С.Ю. Парда, маг.;
Д.В. Кульша, студ. 4 курса (БГТУ, г. Минск)

ИЗМЕНЕНИЕ МОЩНОСТИ ПРИВОДА ВЕРТИКАЛЬНОЙ БИСЕРНОЙ МЕЛЬНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНСТРУКЦИИ РОТОРА

Бисерные мельницы – разновидность мельниц, применяемых для получения ультрадисперсных продуктов в жидкой среде путём перетирания суспензии материала твердыми шариками – техническим бисером. Они применяются для измельчения широкого круга материалов, в лакокрасочной, керамической, пищевой, химической, горнодобывающей и других отраслях промышленности.

Конструктивно бисерные мельницы представляют собой неподвижный цилиндр, заполненный шарами, внутри которого вращается перемешивающее устройство – ротор. Цилиндр выполнен с рубашкой для водяного охлаждения, так как в процессе помола, за счет истирания, происходит значительное выделение тепла.

Одной из основных проблем при конструировании этих помольных агрегатов является определение составляющей мощности, затрачиваемой на перемешивание. Она зависит от многих технологических и конструктивных факторов: диаметр дисков и их конструктивное исполнение, окружная скорость вращения ротора, плотность загрузки и др. В настоящее время не существует оптимальной методики для ее расчета. Проектные организации в основном пользуются данными аналогичных конструкций или используют электродвигатели большей мощности, что является не рациональным.

Поэтому разработка методик определения затрат мощности на перемешивание является весьма актуальной задачей для данного типа помольных агрегатов.

Так как конструктивно ротор представляет собой набор нестандартных перемешивающих элементов, в основном пять и более, которые должны обеспечивать значительную интенсивность перемешивания, то расчет его энергетических затрат представляет собой весьма сложную теоретическую задачу. Даже если получена аналитическая зависимость для одного типа ротора она в большинстве случаев не будет применима к другому. А для конструкции ротора с наклонными дисками это в целом фактически не решаемая задача.

В данном случае, для вычисления затрат мощности на перемешивание, необходимо использовать классическую методику расчета

быстроходных перемешивающих устройств, которая базируется на построении графических зависимостей критерия мощности от центробежного критерия Рейнольдса $K_N = f(Re_{ц})$ [1]

Объектом исследования были выбраны четыре конструктивных разновидности роторов (рисунок 1) с мешалками: в виде круглых дисков с отверстиями, в виде наклонных дисков, треугольных дисков с пазами и ротор с периферическими стержнями (штырями).

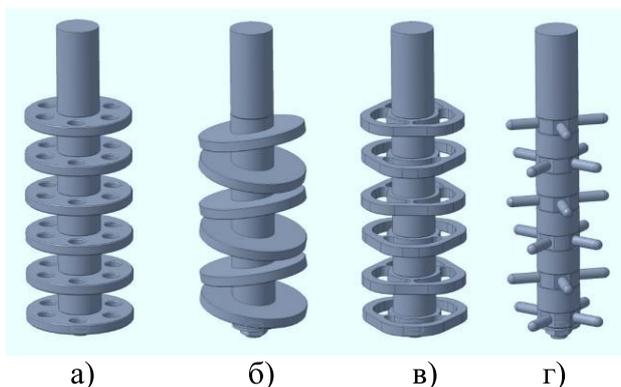


Рисунок 1 – Типы роторов вертикальных бисерных мельниц

а) – с круглыми дисками; б) – с наклонными дисками;
в) – с треугольными дисками; г) – со штырями

Величина линейной скорости на кромке роторов принималась равной 10 м/с, так как это значение является наиболее оптимальным для обеспечения эффективного процесса измельчения [2].

Загрузка представляла собой смесь воды с мелющими телами без измельчаемого материала. В качестве мелющих тел использовались: стеклянные, керамические и металлические шарики диаметров 2-3 мм. Одним из допущений, приближающих нашу задачу к инженерной, но все же основанной на классических законах гидродинамики является то, что загрузка внутри мельницы представляется в виде ньютоновской жидкости. При этом плотность и вязкость этой жидкости рассчитываются как для суспензии, содержащей жидкость и твердую фазу в виде компонентов: измельчающих шаров и материала.

Плотность среды внутри мельницы определялась по формуле:

$$\rho_c = \rho_{ш} c_{ш} + \rho_{ж} (1 - c_{ш}), \quad (1)$$

где $\rho_{ш}$ – плотность мелющих тел, кг/м³; $c_{ш}$ – массовая доля мелющих тел; $\rho_{ж}$ – плотность жидкости, кг/м³.

Динамическую вязкость среды при доле твердой фазы больше 10% находили по формуле Эйнштейна:

$$\mu_c = \mu_{ж} (1 + 4,5c_{ш}), \quad (2)$$

где $\mu_{ж}$ – динамическая вязкость жидкости, Н · с/м².

Мощность, затрачиваемая на перемешивание, рассчитывалась

исходя из силы тока, которую фиксировал частотный преобразователь, с учетом КПД привода мельницы [2].

На первом этапе, для предварительного сравнения конструкций роторов и их влияния на энергозатраты, были получены графические зависимости мощности, затрачиваемой на перемешивание от плотности загрузки (рисунок 2). По ним хорошо просматривается увеличение мощности с увеличением плотности загрузки практически по линейной зависимости. Наиболее энергозатратным оказался ротор с мешалками в виде наклонных дисков, что обусловлено увеличением сопротивления при взаимодействии с загрузкой за счет угла наклона.

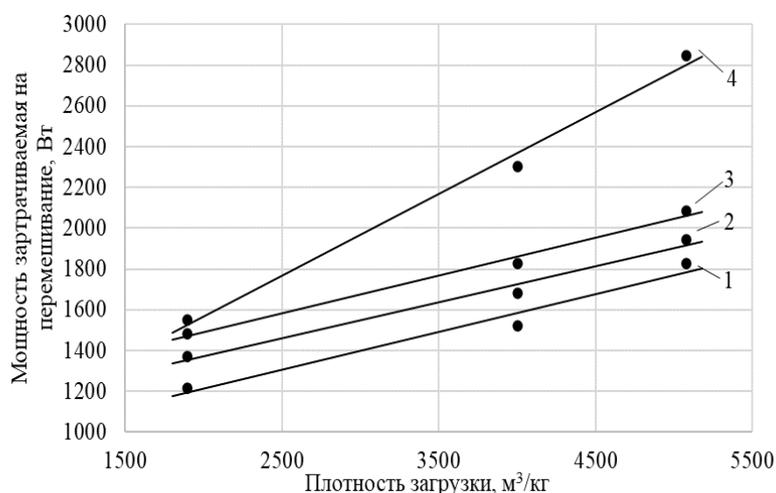


Рисунок 2 – Зависимость мощности, затрачиваемой на перемешивание, от плотности загрузки

- 1 – ротор с круглыми дисками; 2 – ротор с треугольными дисками;
3 – ротор с наклонными дисками; 4 – ротор с наклонными дисками

Однако полученные кривые не могут полностью учесть влияние всех параметров процесса на мощность, затрачиваемую на перемешивание. Поэтому на втором этапе были построены графические зависимости критерия мощности от центробежного критерия Рейнольдса $K_N = f(Re_{ц})$ (рисунок 3), которые хорошо описываются эмпирическими зависимостями (1)-(4):

- 1) ротор с круглыми дисками:

$$K_N = 5256,3Re_{ц}^2 - 205,89Re_{ц} + 3,5713, \quad (1)$$

- 2) ротор с треугольными дисками:

$$K_N = 5777,1Re_{ц}^2 - 245,05Re_{ц} + 3,7443, \quad (2)$$

- 3) ротор с наклонными дисками:

$$K_N = 5619,8Re_{ц}^2 - 233,74Re_{ц} + 3,4982, \quad (3)$$

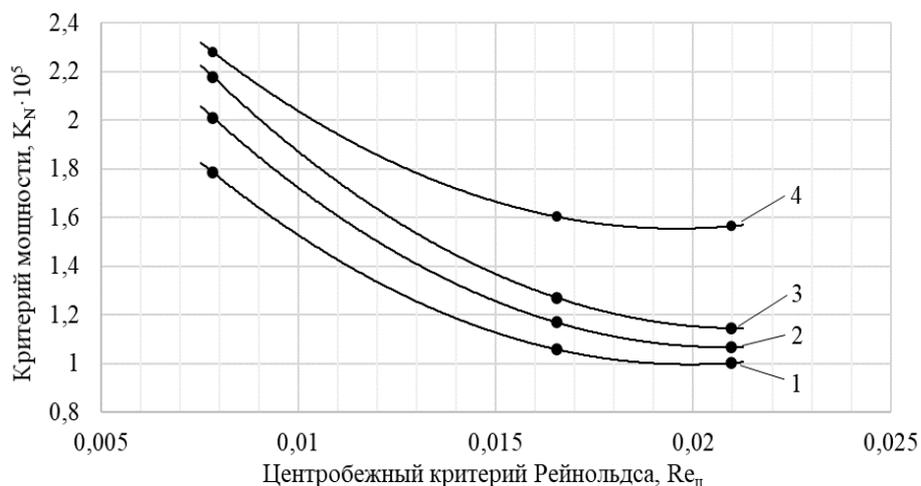


Рисунок 2 – Зависимость критерия мощности от центробежного критерия Рейнольдса для разных типов роторов

1 – ротор с круглыми дисками; 2 – ротор с треугольными дисками;
3 – ротор с наклонными дисками; 4 – ротор с наклонными дисками

4) ротор с наклонными дисками:

$$K_N = 5402,4Re_{ц}^2 - 215,21Re_{ц} + 3,1403. \quad (4)$$

По полученным графическим зависимостям или эмпирическим уравнениям, которые их описывают, можно легко определить мощность, затрачиваемую на перемешивание загрузки. Однако данные кривые были получены только при изменении плотности загрузки при фиксированной линейной скорости ротора.

Также стоит отметить, что мощность, затрачиваемая на перемешивание, не отражает полноту энергозатрат на измельчение в целом. Более емким параметром для измельчающих агрегатов являются относительные энергозатраты (приходящиеся на обработку единицы продукции). Поэтому дальнейшие исследования будут направлены на увеличение диапазона варьируемых параметров для определения критерия мощности и относительных энергетических затрат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильцов, Э. А. Аппараты для перемешивания жидких сред. Справочное пособие / Э. А. Васильцов, В.Г. Ушаков // Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние. 1979. – 272 с.

2. Козловский В.И. Влияние конструкции ротора на мощность привода вертикальной бисерной мельницы / В.И. Козловский, О.А. Петров, С.Ю. Парда, Д.В. Кульша // Нефтегазохимия – 2023 : материалы VI Междунар. науч.-техн. форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 1–3 ноября 2023 г. – Минск : БГТУ, 2023. – С. 173-177.