

УДК 622-15

Б.А. Захаров, М.И. Манцевич, Р.А. Малинский
**К ТЕОРИИ РАСЧЕТА НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ,
ОПТИМИЗИРУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ
КОНЦЕНТРАТОРОВ**

Проведен математический расчет некоторых параметров центробежных концентраторов, позволяющих установить допустимые пределы их работы. Приведена зависимость, позволяющая установить нижний предельный размер улавливаемых тонких зёрен в заданных технологических условиях, а также оценить возможность активного воздействия на указанный предел величин вязкости пульпы, плотности, производительности по потоку, конструктивных параметров центробежного концентратора.

Ключевые слова: центробежный концентратор, свёрнутый вращающийся шлюз, скорость струи, скорость осаждения, предел улавливаемости тонких зёрен.

Семинар № 25

**B.A. Zaharov, M.I. Mantsevich,
R.A. Malinskiy**
**THE THEORY OF THE
CALCULATION OF SOME OF THE
PARAMETERS THAT ALLOW TO
OPTIMIZE THE TECHNOLOGICAL
CHARACTERISTICS OF THE
EFFERENT CONCENTRATORS**

The mathematical calculation of some of the parameters of the efferent concentrators are conducted. The calculation allows to define the permissible low limit of the fine grains in the set technological conditions and estimate the possibility of the active impact on the set limit of the pulp stickiness values, density, downstream capacity, constructive parameters of the efferent concentrator.

Key words: efferent concentrator, folded rotating shutter, flow speed, sedimentation velocity, separability limit of fine grains.

Центробежный концентратор (ЦК) в настоящее время является одним из наиболее перспективных аппаратов для гравитационного обогащения супертонкого материала при чрезвычайно низком исходном содержании извлекаемого, как правило, драгметалльного компонента. Рас-

ширение масштабов внедрения и повышение технологической эффективности ЦК нередко сопряжено с необходимостью теоретического рассмотрения ряда параметров, оптимизирующих процесс, протекающий в ЦК.

Схематически упрощённая модель ЦК может быть представлена в виде обогатительного шлюза, свёрнутого в форме усечённого конуса, ось вращения которого совпадает с направлением потока; условно назовём такую модель **свёрнутый вращающийся шлюз (СВШ)**. В результате вращения конуса вокруг собственной вертикально расположенной оси пульпа, поступающая в центр нижней, узкой части аппарата, под действием центробежной силы движется вверх, к разгрузке. Зёрна тяжелого минерала, успевшие при этом достичь внутренней нарифлённой поверхности конуса, накапливаются здесь в течение технологического цикла. Как и обычный шлюз, ЦК – аппарат полунепрерывного действия, в котором движение обогащаемого потока непрерывно на протяжении рабочего такта

технологического цикла тогда, как разгрузка концентрата – периодическая - по мере заполнения межрифельного пространства.

В обычном гравитационном шлюзе источником транспортной скорости является энергия струи, движущейся по наклонной плоскости. Осаждение частицы, движение её по вертикали, поперёк движущейся струи, определяется скоростью падения под действием силы тяжести, в соответствии с известным уравнением Стокса. Если путь, определяемый равнодействующей транспортной и вертикальной скоростей вписывается в продольный габарит аппарата, то частица, достигая дна, улавливается прежде, чем с ламинарным потоком покинет шлюз. При этом необходимо подчеркнуть, что чем ближе к днищу шлюза, тем меньше транспортная скорость струи; предельно, на границе с днищем эта скорость равна нулю. Этим обстоятельством, в частности, объясняется низкая избирательность процесса на шлюзах, хотя и разработан целый ряд приёмов и приспособлений, призванных оживить придонный слой.

В ЦК, напротив, через придонный слой, через границу стенка-струя осуществляется энергопередача, скорость струи определяется центробежной силой, вернее, её составляющей, направленной вдоль поверхности. Скорость осаждения - другая составляющая - направлена нормально к поверхности конуса, поперёк движущейся струи; она также предопределяется центробежной силой.

Примем, что *нормальная эксплуатация ЦК обеспечивается в том случае, когда струя равномерно растекается по поверхности конуса, образуя технологический **продукционный слой*** (ПС).

Проводимый нами упрощённый расчёт требует принятия ряда допу-

шений. **Первое** из них: ПС в пределах технологической поверхности аппарата *геометрически однороден*. Отсюда следует, что объём ПС:

$$V_{nc} = H \cdot p \cdot l = s \cdot l \quad (1)$$

H - толщина ПС; p - периметр ПС, длина окружности конуса по среднему диаметру; s - поперечное сечение струи; l - технологическая длина слоя, величина образующей конуса.

Второе допущение: ПС кинетически *изотропен*, т.е. скорость в пределах всей поверхности постоянна. Тогда объёмный дебит технологического потока:

$$Q = w_{mp} \cdot s = w_{mp} \cdot H \cdot p \quad (2)$$

Величина транспортной скорости w_{mp} определяется из центробежной $w_{ц}$ и синуса угла наклона поверхности конуса:

$$w_{mp} = w_{ц} \cdot \sin \alpha \quad (3)$$

$$Q = w_{ц} \cdot \sin \alpha \cdot H \cdot p \quad (4)$$

Время пребывания материала в аппарате – это отношение технологического объёма аппарата, в данном случае, объёма ПС V_{nc} к удельному объёмному дебиту:

$$\begin{aligned} \tau_{преб} &= \frac{V_{nc}}{Q} = \frac{H \cdot p \cdot l}{w_{ц} \cdot H \cdot p \cdot \sin \alpha} = \\ &= \frac{l}{w_{ц} \cdot \sin \alpha} = const \end{aligned} \quad (5)$$

при фиксированной величине скорости вращения.

Таким образом, в установившемся технологическом режиме работы ЦК время пребывания материала в аппарате постоянно и не зависит от величины технологического потока. С другой стороны, время пребывания – это $\tau_{сед}$ -

максимальное время осаждения улавливаемых концентратором частиц, т.е.:

$$\tau_{сед} = \tau_{проб} = \frac{l}{w_y \cdot \sin \alpha} \quad (6)$$

Для КН-48 при величине синуса 0,087 время пребывания составляет 0,73 сек., при 0,174, соответственно, 0,37 сек.

Отсюда следует важный вывод: увеличивая длину конуса, уменьшая угол наклона последнего, мы сможем уловить более тонкие частицы.

Влияние центробежной силы на скорость транспортирования корректируется величиной синуса угла, которая менее 0,1 тогда, как косинус этого угла, определяющий скорость седиментации, близок к единице. При расчёте скорости седиментации обычно исходят из условия, что при равномерном ламинарном движении оседающей частицы силы трения (7)-закон Стокса) и кажущегося веса (8)-закон Архимеда) равны:

$$F_{тр} = 6\pi\eta r w_{сед} \quad (7)$$

$$P = \frac{4}{3}\pi r^3 \langle \delta_1 - \delta_2 \rangle \cdot g \quad (8)$$

Здесь r - эквивалентный радиус расчётной частицы, η - вязкость жидкой фазы, δ - плотности твёрдой и жидкой фаз, g - ускорение силы тяжести. В центробежном поле вместо ускорения силы тяжести фигурирует a_y центробежное ускорение. Тогда, аналогично (8), запишем:

$$P_y = \frac{4}{3}\pi r^3 \langle \delta_1 - \delta_2 \rangle \cdot a_y \quad (9)$$

Центробежный фактор разделения, как известно, равен отношению ускорения центробежного поля к ускорению силы тяжести

$$f_c = \frac{a_y}{g} = \frac{w_y^2}{g \cdot R}; \text{ при этом учитывает-}$$

ся, что величиной косинуса можно пренебречь и сила Стокса приближенно равна центробежной силе. Поэтому запишем:

$$a_y = g \cdot f_c \cdot \cos \alpha \approx g \cdot f_c \quad (10)$$

Если разность плотностей твёрдого и жидкого $\delta_1 - \delta_2 = \Delta \delta$, то равенство указанных сил, характеризующее процесс осаждения, запишется:

$$6\pi\eta r w_{сед} = \frac{4}{3}\pi r^3 \Delta \delta \cdot f_c g \quad (11)$$

После соответствующих замен и сокращений получим:

$$w_{сед} = \frac{1}{18} d^2 \Delta \delta \cdot f_c g = 54.5 \cdot d^2 \Delta \delta \cdot f_c \quad (12)$$

Найдём время осаждения, разделив толщину слоя H на скорость седиментации:

$$\tau_{сед} = \frac{H}{w_{сед}} = \frac{1835 \cdot H \cdot \eta}{\Delta \delta \cdot d^2 \cdot f_c} \quad (13)$$

В уравнении (13) для упрощения рабочих расчётов скорректированы размерности: толщина прдукционного слоя дана в мм, эквивалентный диаметр осаждаемого зерна - в мкм, время осаждения - в сек. С учётом уравнения (6) получим:

$$\frac{l}{w_y \cdot \sin \alpha} = \frac{1835 \cdot H \cdot \eta}{\Delta \delta \cdot d^2 \cdot f_c} \quad (14)$$

Отсюда минимальный диаметр улавливаемого в принятых условиях зерна:

$$d_{\min} = \sqrt{1835 \cdot \frac{H \cdot w_y \cdot \sin \alpha \cdot \eta}{l \cdot \Delta \delta \cdot f_c}} \quad (15)$$

**Зависимость критической скорости образования
ПС от угла наклона конуса**

α°	15	10	5	3
$w_{ц.кр} \text{ м/сек}$	4,8	5,85	8,27	10,92

Поскольку $f_c = \frac{a}{g} = \frac{w_{ц}^2}{g \cdot R}$; и $\Delta d = \frac{d_1}{d_2} = \sqrt{\frac{H_1}{H_2}} = \sqrt{\frac{Q_1}{Q_2}}$ (19)

$w_{ц} = \frac{\pi \cdot R \cdot n}{30} \approx 0.1R \cdot n$, где n - число оборотов конуса, получим:

$$d_{мин} = 434 \sqrt{\frac{\sin \alpha}{l} \cdot \frac{H \cdot \eta}{n \cdot \Delta \delta}}, \quad (16)$$

т.е. рассчитать предельный диаметр, зная число оборотов конуса.

В формуле (16) - основной, технологически регулируемый параметр - толщина продукционного слоя H . В соответствии с уравнением (4)

$$H = \frac{Q}{\rho w_{ц} \sin \alpha} = \frac{1000Q}{6.28Rw_{ц} \sin \alpha 3600} = \frac{0.044Q}{w_{ц} R \sin \alpha}, \text{ мм} \quad (17)$$

где R - технологический радиус конуса. При прочих равных условиях толщина продукционного слоя пропорциональна производительности по потоку $H=kQ$

Оценим величину ПС для КН-48 при скорости 17,2 м/сек, радиусе конуса 0,61м и величине синуса 0,087:

$$H = 0.048 \cdot Q, \text{ мм} \quad (18)$$

При потоке 150 м3/час толщина ПС составит 7,2 мм.

Отсюда следует простая зависимость изменения крупности улавливаемого зерна Δd от производительности или толщины ПС при фиксированных технологических параметрах аппарата:

Так, снижение производительности аппарата в два раза позволит понизить нижнюю границу извлекаемости зерна в 1,4 раза, например, в рассматриваемых выше условиях, 25,9 до 18 мкм.

Режимное изменение толщины продукционного слоя возможно в определенном диапазоне: **нижний** предел определяется условиями сохранения сплошности слоя по всей рабочей поверхности аппарата; **верхний** предел ограничен массой пульпы, удерживаемой при установленных значениях угла конусности и центробежной скорости. В тонком слое, когда градиентом скорости в поперечном сечении этого слоя можно пренебречь, возникновение самого слоя возможно, когда транспортная сила и составляющая силы тяжести равны между собой:

$$F_{mp} = F_{ц} \cdot \sin \alpha = \frac{mw_{ц}^2}{R} \cdot \sin \alpha \quad (20)$$

$$F_p = P \cdot \cos \alpha = mg \cdot \cos \alpha \quad (21)$$

$$\frac{mw_{ц}^2}{R} \cdot \sin \alpha = mg \cdot \cos \alpha \quad (22)$$

Откуда величина минимальной критической центробежной скорости, при которой возникает ПС:

$$w_{ц.кр} = 3.13 \cdot \sqrt{\frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}} \cdot R \quad (23)$$

Поскольку при малых значениях угла $\cos \alpha \approx 1$, минимальная, крити-

ческая скорость, при которой возникает продукционный слой:

$$w_{ц,кр} = 3.13 \sqrt{\frac{R}{\sin \alpha}} \quad (24)$$

В таблице приведены значения критических скоростей, вычисленных для концентратора КН-48, радиус которого 0,61 м.

Паспортная скорость вращения указанного аппарата в два раза превышает критический минимум. Однако, по мере увеличения потока толщина продукционного слоя может возрасти настолько, что допущение относительно кинетической изотропности ПС становится некорректным, т.е. величина градиента скорости, определяемая вязкостью пульпы, окажется настолько значительной, что скорость внутренних слоёв опустится ниже критических значений, приведенных, в

частности, в таблице. При этом произойдёт срыв ПС и нарушение работы ЦК.

Выводы

Показанная выше зависимость (16) позволяет установить **предел** улавливаемости тонких зёрен в определённых технологических условиях а также оценить возможность активного воздействия на указанный предел величины вязкости пульпы, её плотности, производительности по потоку и конструктивных параметров центробежного концентратора (угла наклона и длины чаши, скорости её вращения). С помощью уравнения (24) можно оценить величину критической скорости, при которой возможно существование ПС, обеспечивающего процесс центробежной сепарации. **ТАБ**

Коротко об авторах

Захаров Б.А. – ОАО «ГМК «Норильский Никель», г. Норильск, тел. 7556740,
Манцевич М.И. – ФГУП «Институт «ГИНЦВЕТМЕТ», Москва,
Малинский Р.А. – ФГУП «Институт «ГИНЦВЕТМЕТ», Москва, gin@gintsvet.msk.ru



**ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ
МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

2. Бойко Д.Ю., Чантурия Е.Л. РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ СУХОГО ОБОГАЩЕНИЯ УГЛЯ (705/08-09 от 22.04.09) 5 с.

В результате проведенных исследований определены оптимальные диапазоны регулируемых параметров схемы пневматической сепарации. Испытания показали, что сочетанием способов вакуумно-пневматической сепарации и пневматической сепарации в горизонтальном воздушном потоке можно производить эффективное обогащение рядовых углей разреза

РУКОПИСИ,

«Бунгурский».

As a result of the lead researches optimum ranges of adjustable parameters of the scheme of pneumatic separation are certain. Tests have shown that a combination of ways of vakuum-pneumatic separation and pneumatic separation in a horizontal air stream it is possible to make effective enrichment of ordinary coals of mine “Bungurskiy”.