

Гидроциклонная установка «Verex»

Оптимизация профиля разделительного канала гидроциклона и расширение функций оперативного управления процессом классификации – резервы повышения эффективности гидроциклонной установки, реализуемые ЗАО «СОМЭКС»

А.Ю. Никитин, к.э.н., директор ЗАО «СОМЭКС»

С.Ф. Шинкоренко, д.т.н., научный консультант ЗАО «СОМЭКС»

В общей цепочке технологического оборудования обогатительных фабрик гидроциклонные установки, классифицирующие измельченные продукты, играют определяющую для технологических показателей роль: от эффективности классификации зависят как качественные результаты процесса обогащения, так и производительность измельчительного оборудования. Не случайно на совершенствование гидроциклонных установок (ГЦУ) в мировой практике обращается особое внимание.

Конструкция гидроциклонной установки должна обеспечить качественное выполнение двух основных функций: разделения исходного продукта по крупности в гидроциклоне и поддержания постоянства режима классификации, осуществляемого системой оперативного контроля и автоматического управления установкой АСУ ГЦУ.

Повышение эффективности работы гидроциклонных установок на практике осуществляется преимущественно путем совершенствования конструкции гидроциклонов, направленного на устранение главного недостатка их работы: взаимного засорения продуктов разделяемыми классами крупности из-за турбулентности потоков пульпы в разделительном канале. Уровень управления процессом гидроциклонирования при этом практически не повышается.

Специалисты ЗАО «СОМЭКС» решают задачу совершенствования гидроциклонных установок путём сочетания приемов оптимизации конструкции гидроциклона с реализацией новых более эффективных способов управления установкой. В числе средств, использованных специалистами ЗАО «СОМЭКС» для повышения эффективности гидроциклонных установок марки «Verex» – оптимизация профиля разделительного канала гидроциклона и расширение функций оперативного управления процессом классификации, определенные на основе анализа режимов работы гидроциклонов и установок в целом. Ниже рассмотрены основные приемы совершенствования гидроциклонной установки «Verex», созданные по результатам выполненных исследований.

Оптимизация профиля разделительного канала гидроциклонных установок

Основное направление разработки новых гидроциклонов состоит в оптимизации гидродинамических параметров пульпы, движущейся в разделительном канале гидроциклона, с целью максимального снижения турбулентности пото-

ка и увеличения тангенциальной составляющей скорости его движения. Известно, что причина увеличения турбулентности потоков заключается в местных гидродинамических сопротивлениях на пути их движения, в том числе и сужение каналов. Согласно зависимостям Дарси-Вейсбаха коэффициент потерь энергии потока жидкости ψ увеличивается пропорционально величине местного сужения потока n [1]:

$$\psi = f(n^2 - 1/n^2),$$

где: $n = S_1/S_2$; S_1, S_2 – площади смежных сечений канала гидроциклона (рис. 1).

Таким образом, размер местного сужения канала определяет величину его гидродинамического сопротивления и соответственно степень турбулентности потока.

Учитывая это, тенденцией разработки новых конструкций гидроциклона Krebs серии gMAX® для тонкоизмельченных пульп стало снижение сужения канала путем уменьшения угла конусности гидроциклона до 20–10° (по данным сайта www.flsmidth.com). Однако уменьшение угла конусности не решает проблему максимального снижения турбулентности потоков в разделительном канале гидроциклона.

Конусная конфигурация продольного сечения разделительного канала не является оптимальной для формирования суживающихся потоков пульпы с позиций местных сопротивлений движению пульпы и минимизации турбулентности.



Об этом свидетельствуют результаты оценки гидродинамической эффективности конусного канала на основе таких показателей как величины его местных сужений и местных сопротивлений. Необходимо учитывать, что общий угол конусности дает лишь общую характеристику гидроциклону. Динамика движения потока в канале гидроциклона зависит от профилей и степени изменчивости местных сужений по его высоте и отражается коэффициентами местных сужений K (определяются по соотношению $K = S_2 / S_1$, в котором смежные сечения разделительного канала располагаются с заданным постоянным интервалом между ними, например 10 см).

В дифференциальной форме коэффициенты местных сужений определяются как

$$K = dS / dH S,$$

где dS – элементарное уменьшение площади S местного сечения при перемещении его на элементарный интервал dH по высоте разделительного канала.

Минимизация местных гидродинамических сопротивлений суживающегося канала и степени турбулизации потока при заданных параметрах гидроциклона: диаметре, высоте, размере песковой насадки достигается при постоянстве коэффициента K по высоте канала ($K = \text{const}$). Недостатком конструкции гидроциклона с постоянным углом конусности является то, что местные сужения сечений разделительного канала конусной части гидроциклона в направлении от питающего патрубка к песковой насадке происходят не равномерно, а с возрастающей величиной.

Если рассматривать соотношения площадей смежных сечений, расположенных на равных расстояниях между собой, то:

$$d_2 / d_1 > d_3 / d_2 > d_{n+1} / d_n,$$

где: $d_1; d_2; d_3; d_n$ – внутренние диаметры смежных сечений разделительного канала конусной части гидроциклона (рис. 1). В данном случае $K = dS/dHS \neq \text{const}$.

На рис. 2 приведена зависимость коэффициентов местных сужений канала гидроциклона диаметром 360 мм с углом конусности 20° от высоты сечений вдоль канала (график 1).

Можно видеть, что при постоянном угле конусности коэффициент местного сужения канала гидроциклона изменяется в широких пределах: от 0,8 до 0,3. Наиболее интенсивно местное сужение канала происходит в нижней части гидроциклона при переходе к песковой насадке.

Такой характер изменения местных сужений разделительного канала оказывает существенное влияние на степень турбулизации потоков пульпы. Из изложенного следует, что возрастающее местное сужение площадей сечения разделительного конусного канала гидроциклона приводит к относительному росту местного сопротивления канала и увеличению степени турбулизации потоков, следствием чего являются снижение четкости разделения по крупности и повышение требуемого давления на входе в гидроциклон.

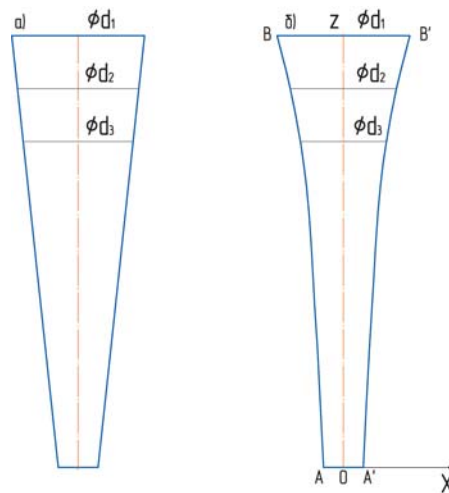


Рис. 1 Профили разделительных каналов гидроциклонов:

- а) с постоянным углом конусности и неравномерным сужением канала по высоте;
- б) с плавным изменением угла конусности и равномерным сужением канала по высоте

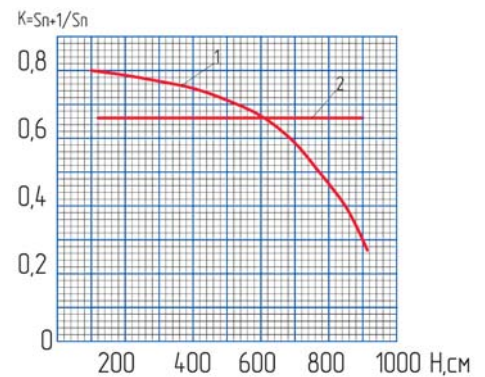


Рис. 2 Величины коэффициентов местного сужения разделительного канала в зависимости от расположения сечений по его высоте:

- 1) гидроциклон с постоянным углом конусности;
- 2) гидроциклон с равномерным сужением канала

Более эффективно проблема турбулизации решается в гидроциклонах с переменной конусностью. В таких гидроциклонах достигается более плавное изменение площадей местных сечений канала гидроциклона и соответственно снижение турбулентности потоков. Снижение турбулентности в нисходящем потоке гидроциклона «Verex» осуществляется путем придания внутренней поверхности конусообразной части гидроциклона профиля, при котором сечение канала изменяется непрерывно и равномерно: относительное изменение площади местного сечения канала через равные интервалы по высоте гидроциклона – это постоянная величина (рис.1б):

$$d_2 / d_1 = d_3 / d_2 \dots = d_{n+1} / d_n = \text{const} \quad (1)$$

или в дифференциальной форме $dS/dH S = K_m = \text{const}$.

В этом случае движение пульпы приобретает характер равномерно-ускоренного, при котором минимизируется гидродинамическое сопротивление суживающегося канала, достигается снижение турбулентности и увеличение тангенциальной составляющей скорости вращающихся потоков. Соответственно повышается эффективность разделения исходного материала в гидроциклоне.

На рис. 1б приведен оптимизированный профиль разделительного канала гидроциклона «Verex» с равномерным сужением $S_{n+1} / S_n = \text{const}$ (рис. 2, график 2).

Размер диаметров местных сечений канала определяется из уравнения, выражающего зависимость суживающихся площадей сечений от расстояния последних от вершины конусообразного профиля гидроциклона:

$$d^2 = d_1^2 e^{-KH},$$

где: d – диаметр местного сечения разделительного канала гидроциклона, см; d_1 – диаметр сечения канала в его начале, см; e – основание натурального логарифма; K – коэффициент относительного сужения канала в смежных сечениях при расстоянии между ними в 1 см; H – расстояние местного сечения от вершины конусообразного канала, см.

При построении профиля конусообразного канала его

внутренняя поверхность создается вращением криволинейной образующей АВ вокруг оси гидроциклона ОZ (рис.16). Координаты точек образующей в прямоугольной системе координат с осью ОZ имеют следующие значения:

$$X = \frac{1}{2}d = \frac{1}{2}d_1 e^{-kH/2}, Z = H, \quad (2)$$

где d – внутренний диаметр сечения конусообразного канала в точках по его высоте.

Конфигурация конусообразного канала, построенного по криволинейной образующей (2), характеризуется величиной постоянного коэффициента местных сужений K_m .

$$K_m = dS/dH S. \quad (3)$$

Назовем этот показатель модулем равномерного сужения разделительного канала гидроциклона. Модуль равен величине относительного сужения площади сечения канала при смещении сечения на dH (при построении профиля канала на рис.16 модуль $K_m = 0,03$ для $dH = 1$ см).

Расширение функций оперативного управления работой гидроциклонной установки

Условия эксплуатации гидроциклонов выдвигают в качестве актуальной задачи совершенствования гидроциклонных установок повышение степени стабильности технологических характеристик продуктов разделения при колебаниях параметров исходного питания установок. Сложность этой задачи обусловлена непостоянством потоков пульпы, поступающих на классификацию. При работе гидроциклонной установки в замкнутом цикле с шаровыми мельницами, являющейся основной функцией гидроциклонов на обогатительной фабрике, наиболее часто нарушения установленного режима классификации материала происходят из-за колебаний производительности и циркулирующей нагрузки шаровых мельниц, при которых изменяется крупность продукта и плотность пульпы, поступающих в гидроциклоны. Колебания производительности и циркулирующей нагрузки мельниц вызываются эпизодическими изменениями прочности поступающего на обогащение сырья при отсутствии или недостаточности его усреднения.

В АСУ ГЦУ современных гидроциклонных установок запрограммированы следующие приемы стабилизации режима работы гидроциклона:

- сохранение заданного давления на входе в гидроциклон;
- поддержание постоянства уровня пульпы в зумпфе насоса и плотности питания гидроциклонов.

С помощью АСУ ГЦУ регулируют давление на входе в гидроциклон изменением частоты вращения рабочего колеса центробежного насоса, уровень пульпы в зумпфе насоса – подачи в зумпф вместе с исходной пульпой технической воды.

Выявленный недостаток в том, что существующими средствами практически невозможно устранить отрицательное влияние колебаний плотности питания гидроциклонов на показатели разделения. Это можно проследить на основе анализа работы установки при разных режимах. При заданной производительности мельницы, в замкнутом цикле с которой работает гидроциклонная установка, с поступлением в мельницу менее прочного сырья снижается циркулирующая нагрузка и соответственно объем пульпы, поступающей в зумпф насоса. Функции АСУ ГЦУ при этом режиме работы сводятся к поддержанию в зумпфе уровня пульпы подачи оборотной воды и давления разбавленной пульпы на входе в гидроциклон, стабилизируемого за счет изменения частоты вращения насоса и его производительности.

Этот прием регулирования не устраняет нарушение процесса классификации: колебание содержания твердого в питании гидроциклона приводит к изменению содержания твердого в сливе и песках гидроциклона и крупности слива [2].

При поступлении в мельницу более прочного сырья увеличивается циркулирующая нагрузка и повышается объем поступающей в зумпф пульпы. В данном случае приемом увеличения пропуска через гидроциклон возросшего объема пульпы служит повышение частоты вращения насоса и соответственно его производительности при увеличении давления на входе в гидроциклон. Недостаток заключается в том, что с увеличением давления и производительности понижается крупность твердой фазы слива, и чаще перегружается песковое отверстие, при этом, наоборот, увеличивается выход и крупность слива.

Практически установки применимы для узких пределов колебаний объемов поступающей на классификацию пульпы и не обеспечивают постоянства показателей разделения пульпы в условиях обогатительных фабрик, на которых эти колебания, как правило, значительны. Так поддержание постоянства плотности пульпы в зумпфе при подаче в него воды может быть достигнуто лишь при небольших колебаниях величины циркулирующей нагрузки и большом объеме зумпфа, при которых эти колебания сглаживаются.

Средства регулирования такого параметра как плотность песков, заданную величину которой необходимо выдерживать, например, при работе установки в замкнутом цикле с мельницами 2-й и 3-й стадий измельчения, отсутствуют.

В целом низкая эффективность работы установок обусловлена тем обстоятельством, что реализуемый способ управления процессом разделения в гидроциклоне использует только прием оптимизации одного параметра подаваемой в гидроциклон пульпы: давления на входе, определяющего подачу пульпы, что конечно же недостаточно. Показатели разделения в большой степени зависят от конструктивных параметров гидроциклона, в частности от размеров разгрузочных отверстий сливного патрубка и песковой насадки и их соотношения: от диаметра сливного патрубка зависит гидродинамическое сопротивление гидроциклона и соответственно его пропускная способность, от отношения диаметра песковой насадки к диаметру сливного патрубка – разгрузочного отношения – плотность продуктов разделения. Разгрузочное отношение определяет объемы песковой и сливной фракций, выделяемых гидроциклоном при разных плотностях питания [2]. Необходимая для подачи в мельницу плотность песков достигается при определенных разгрузочных отношениях в зависимости от плотности питания гидроциклона.

Оперативное регулирование выходных отверстий гидроциклона открывает возможность изменять в процессе работы разгрузочное отношение и таким образом определять соотношение объемов песков и слива, влияя на показатели разделения при переменных параметрах исходного питания гидроциклонов: плотности пульпы и давления на входе.

Следовательно, для обеспечения заданной плотности песков при изменениях плотности питания необходимо оперативно регулировать разгрузочное отношение гидроциклона.

Учитывая изложенное, функции контроля и управления процессом классификации гидроциклонной установки «Verex» в условиях колебания характеристик поступающих в гидроциклон потоков пульпы расширены. Установка оснащена устройствами автоматического регулирования конструктивных параметров гидроциклона – оперативно управляемыми диафрагмами в разгрузочных каналах гидроциклона: в песковой насадке и в разгрузочном патрубке, при-

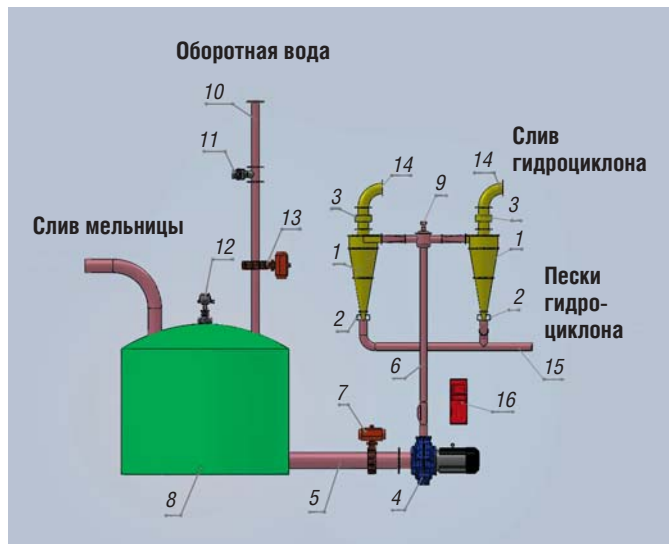


Рис. 3 Схема гидроциклонной установки Verex с оперативно регулируемыми конструктивными параметрами гидроциклона

соединенном соосно к сливному патрубку гидроциклона.

Установка «Verex» (рис. 3) состоит из батареи гидроциклонов 1 с оснащенными диафрагмами песковыми насадками 2 и разгрузочными патрубками 3, являющимися продолжением сливных патрубков гидроциклона, шламового насоса 4 с всасывающим 5 и напорным 6 трубопроводами, запорного шибера 7, зумпфа 8, измерителя давления 9, трубопровода технической воды 10, расходомера воды 11, уровнемера 12, регулировочного клапана подачи воды 13, сливных труб 14, трубы отвода песков 15, преобразователя частоты 16.

Контрольно-измерительными приборами с датчиками осуществляется замер параметров технологического режима: давления пульпы на входе в гидроциклон, уровня заполнения зумпфа, расхода технической воды и пульпы, подаваемых в зумпф, степени открытия диафрагм относительно исходного положения.

На основе полученных данных с помощью АСУ ГЦУ осуществляется непрерывный контроль и управление работой установки, обеспечивающее поддержание заданных параметров технологического процесса: уровня пульпы в зумпфе, давления пульпы на входе в гидроциклон и его производительность, плотности песков и слива гидроциклона. Установка диафрагм в разгрузочных каналах, кроме оптимизации разгрузочного отношения, открывает широкий спектр приемов управления процессом гидроциклонирования. Сочетание регулируемых диафрагм в обоих разгрузочных каналах гидроциклонов установки обеспечивает возможность комплексного автоматического регулирования движения потоков пульпы в гидроциклоне, определяющего главные его показатели: гидродинамическое сопротивление и распределение пульпы между сливным и песковым каналами.

Регулированием выпускных отверстий диафрагм (ноу-хау ЗАО «СОМЭКС») достигается:

- стабилизация производительности гидроциклона при изменении плотности питания;
- оптимизация разгрузочного отношения, определяемого как соотношение диаметров отверстий диафрагм песковой насадки и разгрузочного сливного патрубка, с достиганием заданной плотности песков или слива.

Необходимость стабилизации производительности с помощью сливной диафрагмы обусловлена следующим. При снижении плотности поступающей в гидроциклон пульпы снижается гидродинамическое сопротивление гидроцикло-

на, в связи с чем увеличивается подача пульпы в гидроциклон насосом. При уменьшении отверстия диафрагмы сливного разгрузочного патрубка увеличивается сопротивление гидроциклона и уменьшается его производительность и, соответственно, скорость потоков в гидроциклоне до заданных изначально величин, при которых осуществляется запрограммированное разделение зерен по крупности.

Оптимальные результаты достигаются при одновременном регулировании изменением диаметров отверстий диафрагм производительности гидроциклона и разгрузочного отношения.

При снижении плотности питания гидроциклона АСУ ГЦУ выполняет две следующие функции:

1. Регулирование производительности (пропускной способности) гидроциклона уменьшением отверстия диафрагмы разгрузочного патрубка;
2. Регулирование разгрузочного отношения в соответствии с плотностью питания гидроциклонов изменением отверстия диафрагмы песковой насадки. Таким образом, максимально восстанавливаются гидродинамические параметры потоков пульпы в гидроциклоне и условия разделения зерен по крупности, изменившиеся при снижении плотности питания.

При увеличении циркулирующей нагрузки в цикле измельчения и объема поступающей на классификацию пульпы с большей плотностью автоматическое управление процессом включает:

- регулирование производительности (пропускной способности) гидроциклона на более плотной пульпе путем увеличения отверстия диафрагмы разгрузочного патрубка;
- дополнительное регулирование частоты вращения насоса при избыточных объемах поступления пульпы;
- увеличение отверстия диафрагмы песковой насадки до оптимального значения разгрузочного отношения.

С увеличением отверстия диафрагмы разгрузочного патрубка уменьшается гидродинамическое сопротивление гидроциклона и повышается его производительность при данной частоте вращения насоса; соответственное увеличение отверстия диафрагмы песковой насадки обеспечивает пропускную способность гидроциклона по пескам при возросшей производительности при стабильных показателях по крупности и плотности продуктов.

Изложенное свидетельствует о том, что с включением в систему оперативного управления процессом классификации конструктивных параметров гидроциклона система «Verex» приобрела универсальный характер. Гидроциклоны установок «Verex» изготавливаются со сменными элементами футеровки из прочных износостойчивых полиуретановых эластомеров, обеспечивающих длительную службу оптимального профиля разделительного канала. Производительность гидроциклонов в зависимости от их типоразмеров находится в диапазоне 50–250 м³/час.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гейер В.Г., Дулин В.С., Заря А.Н. Гидравлика и гидропривод. М. Недра, 1991.
2. Поваров А.И. Гидроциклоны на обогатительных фабриках. М. Недра, 1978.



Адрес головного офиса компании:

107023, Москва, ул. Суворовская, д. 8., стр. 3
 тел.: 8-(495) 730-28-74 (многоканальный)
 факс: 8-(495) 983-15-74
 e-mail: info@somex.ru
www.somex.ru