

*Н.И. НИКИТИН*, канд. техн. наук,  
*А.И. ПОВОРОЗНЮК*, канд. техн. наук, *А.В. ИВАШКО* (г. Харьков)

## **ДЕТЕРМИНИСТСКИЙ ПОДХОД ПРИ ОПИСАНИИ ДВИЖЕНИЯ УГОЛЬНОЙ СУСПЕНЗИИ В ГИДРОЦИКЛОНЕ**

В статті розглядаються конструктивні особливості розробленого апарату та детерміністичний метод моделювання процесів, що відбуваються в гідроциклоні, умовні зони та припущення для математичного опису руху складових вугільної суспензії. Зроблено опис роботи програмного забезпечення, яке призначено для визначення оптимальних режимів роботи апарату.

In this article design feature of the developed devices and determinate method of modeling of processes which there are in a hydrocyclone, conditional zones and assumptions for the mathematical description for movement of components coal suspension. The description of job software is made which is intended for definition of optimum modes of operations of the device.

**1. Постановка проблемы.** В углеподготовительных цехах коксохимических заводов в исходном продукте на флотацию, в фильтрате вакуум-фильтров, а так же в шламах фугата центрифуг, направляемые в водно-шламовые схемы, содержится до 60 % частиц крупностью более 0,15 мм с зольностью до 10 %. В связи с этим необходимо совершенствовать водно-шламовые схемы обогатительных фабрик (ОФ) с целью улавливания угольных шламов, которые можно использовать в народном хозяйстве.

Кроме этого, при осуществлении гидравлической классификации исходного продукта на флотацию необходимо извлечь частицы зернистых шламов (крупностью более 0,5 мм, содержание которых достигает до 15 %), приемлемые по зольности для присадки к концентрату, но теряемые в отходах, и удалить высокозольные тонкие (менее 0,045 мм) шламы, снижающие эффективность процесса пенной флотации и повышающие расход реагентов.

**2. Анализ литературы.** Гидроциклоны, как центробежные классификаторы углей, обладают по сравнению с другими аппаратами этого типа рядом преимуществ, связанных с их простотой и высокой производительностью [1 – 5]. Однако они имеют не высокую эффективность, в связи с уносом мелких малозольных угольных частиц с основной жидкой массой в слив.

**3. Цель статьи.** Для рационального технического решения, выбора оптимальных конструктивных и технологических параметров исследуемого аппарата (гидроциклона) необходимо разработать математическую модель процесса, а в дальнейшем использовать в виде автоматизированной системы моделирования классификации углей в гидроциклон [6].

**4. Основная часть.** НТУ «ХПИ» предпринял исследования по разработке гидроциклонов для классификации (обогащения) угольной мелочи. Разработанный в НТУ «ХПИ» гидроциклон включает цилиндро-конический корпус; патрубки для исходного и пескового продуктов, а также сливное устройство специальной конструкции.

Напорный ввод угольной суспензии по тангенциальному входному патрубку создаёт и поддерживает в гидроциклоне вращательно-поступательное движение суспензии к песковой насадке и сливному устройству, в котором происходит вторичный процесс классификации твёрдых зёрен.

Основные концентрические проточные зоны (пристенная и приосевая), разделённые прямоточным ядром потока, являются гидродинамической особенностью разработанного гидроциклона. Они обусловлены преимущественно осевой составляющей скорости потока суспензии, а не ядро–тангенциальной [1]. Этим определяются эффекты транспортирующий и сепарирующий, причём последний интенсифицируется уменьшением радиальной скорости потока.

В гидроциклоне, конструкции НТУ «ХПИ», угольные зёрна распределяются по удельному весу (крупности) в радиальном и осевом направлениях. У внутренней цилиндро-конической поверхности в пристенном слое суспензии с большей концентрацией твёрдой фазы сосредотачиваются тяжелые (крупные) частицы, а в приосевом – более мелкие (легкие) минеральные зёрна с меньшим содержанием твёрдого продукта. Сгущённая расклассифицированная суспензия в виде кондиционного продукта (концентрата) выводится из гидроциклона через песковую насадку и через разгрузочное устройство для зернистого сливного продукта, а отходы через разгрузочное устройство для обычного слива.

При моделировании процесса разделения в гидроциклонах рассматриваются различные подходы к определению закономерностей движения твердых частиц в центробежном поле [1 – 5].

При детерминистском (механистическом) подходе предлагается рассматривать и явно выражать все (центробежные, гравитационные и динамические) силы, действующие на единичное зерно в потоке полидисперсной суспензии. Движение частицы в массе других взвешенных в среде частиц можно представить как сумму перемещений ее относительно среды и вместе со средой относительно корпуса аппарата.

Исследования гидродинамической обстановки в гидроциклонах позволяют установить эмпирические зависимости составляющих скоростей потока в различных точках аппарата. Такие зависимости дают приемлемые результаты моделирования.

Например, скорость движения зерна относительно среды возможно рассчитывать по формуле Р. Б. Розенбаума и О. М. Годеса [4]:

$$v = \frac{\nu}{d} = \frac{Ar \varepsilon_p^{4,75} \varphi}{18 + 0,61 \sqrt{Ar \varepsilon_p^{4,75}}}; \quad Ar = \frac{6}{\pi} Li; \quad Li = \frac{\pi d^3}{6} - \frac{\rho_m - \rho_{жс}}{\rho_{жс}} \frac{a}{v^2},$$

где  $\nu$  – кинематическая вязкость жидкости;  $d$  – эквивалентный диаметр частицы;  $a$  – ускорение;  $\varepsilon_p$  – коэффициент разрыхления;  $\varphi$  – коэффициент сферичности частиц.

Движение частицы рассматривается в меридиональном сечении гидроциклона как сумма перемещений ее по двум направлениям – радиусу и оси гидроциклона. Таким образом рассчитывается траектория движения частиц.

Задача сводится к определению местонахождения частицы, подаваемой в гидроциклон из питающего цилиндра в рабочую зону. При выходе из аппарата анализируется – оказывается ли она в сечении сливного отверстия, то есть уходит в слив, или же в сечении пескового отверстия, то есть уходит в пески.

Для решения задачи моделирования процесса разделения угольной суспензии в гидроциклонах при детерминистском подходе необходимо знать структуру и скорости потоков в объеме исследуемого аппарата.

Для удобства математического описания скоростного поля, весь объем исследуемого аппарата был разбит на условные зоны с различающимися гидродинамическими параметрами [4]:

- зона нисходящего пристенного потока в конусе;
- зона поворота и образования циркуляционного потока;
- зона поворота и образования восходящего потока, образующего слив;
- начальная зона восходящего потока;
- восходящий поток, образующий слив;
- зона циркуляционных потоков; зона нисходящего потока в большом цилиндре;
- внешний циркуляционный поток в большом цилиндре.

При расчете принимаются следующие упрощения [4]:

1. В большей части объема гидроциклона гранулометрический состав суспензии при достаточном содержании зерен средних классов крупности изменяется мало. Таким образом, средневзвешенный диаметр зерна суспензии в обогатительной части гидроциклона не меняется.

2. Обогажительный конус на половину по высоте занят минеральной постелью постоянной плотности.

3. Процессы, происходящие в малом, питающем цилиндре, не рассматриваются, так как по полученным данным обогащение в нем отсутствует.

4. Не учитывается влияние вторичного нисходящего потока на границе воздушного столба со сливным потоком.

5. Движение частиц, попадающих во внешний циркуляционный поток под диафрагмой, в дальнейшем не рассматривается.

Для каждой зоны оценены ее границы исходя из геометрических параметров, изменение плотности суспензии, изменение тангенциальной, радиальной и осевой скоростей относительно стенок аппарата .

Формулировка задачи для расчета на ЭВМ с помощью математических методов решения инженерных задач [7, 8] сводится к следующей: определить размер зерна, гарантированно уходящего в концентрат при обогащении в гидроциклоне твердого продукта заданной крупности при заданных режимных параметрах и размерах аппарата.

При работе автоматизированной системы моделирования осуществляется сравнение координат частицы с уравнением границ зон. После выбора зоны рассчитываются три составляющие скорости, содержание твердого в пульпе и центробежного ускорения по формулам, соответствующим данной зоне. Затем производится расчет скорости частицы относительно жидкости аппарата и новых координат. Время шага задается в программе и может быть изменено.

**Выводы.** Таким образом, предполагается выбрать детерминистское описание в качестве базовой модели, в которой описывается движение среднестатистической твердой частицы в потоке жидкости. Для учета сложности процессов движения детерминистская модель дополняется стохастической, а случайные воздействия учитываются двумя способами – как за счет стесненности движения, так и за счет разброса результатов расчета детерминистской модели.

В дальнейших исследованиях планируется рассмотреть все этапы движения угольной суспензии в гидроциклоне, разработать математическое описание процессов, происходящих в аппарате, и проверить модель с применением ЭВМ.

**Список литературы:** 1. *Поваров А.И.* Гидроциклоны на обогатительных фабриках. – М.: Недра, 1978. – 232 с. 2. *Кривошецов В.И.* Структура потока несжимаемой жидкости в прямоточном гидроциклоне // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – Днепропетровск: НИИ Укрметаллургинформ, 1997. – № 2. – С. 26 – 28. 3. *Гольдин Е.М., Поваров А.И.* О гидродинамической картине потока и вычислении крупности разделения в гидроциклоне. – «Груды ин-та Механобр». – Вып. 136. – 1971. – С. 56 – 72. 4. *Лопатин А.Г.* Центробежное обогащение руд и песков. – М.: Недра, 1987. – 224 с. 5. *Никитин Н.И., Поворознюк А.И., Ивашко А.В.* Закономерности движения твёрдых частиц угольной суспензии в центробежном поле гидроциклона // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ».* – Харків: НТУ "ХПІ", 2003. – № 19. – С. 111 – 114. 6. *Никитин Н.И., Никитин И.Н.* Система автоматизированного моделирования центробежных классификаторов углей // *Уголь Украины.* – 2002. – № 12. – С. 42 – 46. 7. *Шун Т.* Решение инженерных задач на ЭВМ. Практическое руководство. – М.: Мир, 1982. – 238 с. 8. *Рубинштейн Ю.Б., Волков Л.А.* Математические методы в обогащении полезных ископаемых. – М.: Недра, 1987. – 296 с.

*Поступила в редакцию 09.04.2005*