

Р. Н. Шестов

Гидроциклоны

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 62
ББК 30.6
Р11

Р11 **Р. Н. Шестов**
Гидроциклоны / Р. Н. Шестов – М.: Книга по Требованию, 2012. – 79 с.

ISBN 978-5-458-25640-7

ISBN 978-5-458-25640-7

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2012

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2012

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В директивах XXIII съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1966—1970 гг. указано, что главная экономическая задача состоит в том, чтобы на основе всемерного использования достижений науки и техники обеспечить дальнейший значительный рост промышленности и повышение производительности труда.

Необходимо ускорить научно-технический прогресс на основе широкого развития научных исследований и быстрого использования их результатов в производстве.

В нашей стране за последние годы развернута большая работа по созданию прогрессивных конструкций машин и внедрению их в производство. К такому оборудованию относятся гидроциклоны, получившие распространение в угольной, металлургической, химической, бумажной, пищевой и других отраслях промышленности.

Гидроциклоны являются наиболее простыми по конструкции и дешевыми аппаратами, использующими действие центробежной силы. Они компактны, обладают высокой производительностью и несложны в эксплуатации.

Впервые гидроциклоны были применены в 1939 г. для сгущения лессовой суспензии, которая использовалась в качестве среды для обогащения угля.

В металлургической промышленности гидроциклоны применяются для отделения окалины, попадающей в воду, охлаждающей внутренние поверхности прокатных станов.

В химической промышленности с помощью гидроциклонов отделяют промежуточные продукты или отходы в виде суспензии, например при выщелачивании, осаждении, кристаллизации — в неорганической химии или полимеризации и конденсации — в органической химии, для предварительного сгущения тонких осадков гидрата окиси алюминия, цинковой и свинцовой пыли и др.

Гидроциклоны диаметром меньше 25 мм нашли применение в гомогенных атомных реакторах для удаления твердых нерастворимых продуктов деления и коррозии из горючего и теплоносителя. В условиях высоких температур и давлений гидроциклон незаменим, так как не имеет подвижных частей и уплотнений.

Это свидетельствует о возможности применения гидроциклонов для удаления взвесей из замкнутых систем высоких давлений и температур в энергетических установках.

Гидроциклоны целесообразно применять для осветления производственных сточных и транспортно-моечных вод, так как при этом резко сокращаются размеры отстойников (или они совсем отсутствуют), а также необходимое производству количество воды.

В последние годы гидроциклоны стали применять в пищевой промышленности. При производстве крахмала необходимо разделять слипшиеся частицы крахмала и клейковины, что очень хорошо достигается в поле срезающих усилий гидроциклона. Кроме того, при помощи гидроциклонов производится предварительная очистка от песка и промывка крахмального молока. И, наконец, для очистки известкового молока от песка и отделения твердой фазы от сока второй сатурации в сахарном производстве применение гидроциклонов также дало положительные результаты.

В мясной промышленности гидроциклоны в основном применяются для обезжиривания рабочей воды, уходящей в канализацию, и отделения кусочков кости при производстве пищевых жиров.

Вопросы теории и практики работы гидроциклонов были опубликованы в большом числе журнальных статей. Однако эти сведения (ввиду их разрозненности) не дают достаточно полного представления о гидроциклонах.

Первой обобщающей работой была книга М. Г. Аكوпова и В. И. Классена, изданная в 1960 г., касающаяся вопросов применения гидроциклонов при обогащении углей.

В 1961 г. вышла книга А. И. Поварова по вопросам теории и практики гидроциклонов при обогащении руд, а в 1964 г. — брошюра Ч. К. Курочицкого и Н. С. Шипуновой, в которой освещен опыт применения гидроциклонов в крахмало-паточной промышленности и методика их расчета.

В настоящей брошюре на основании данных исследований автора рассматриваются основы теории, расчета и конструкции гидроциклонов для отделения более легкой фазы от воды, в частности жира.

Автор

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГИДРОЦИКЛОНАХ

1. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РАЗДЕЛЕНИЯ СУСПЕНЗИЙ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОЦИКЛОНОВ

В различных отраслях промышленности наряду с перемешиванием и диспергированием к числу рабочих процессов, протекающих в системах твердое тело—жидкость и жидкость—жидкость, относятся разделение, сгущение и обезвоживание.

Неоднородные жидкие системы с более или менее грубым раздроблением дисперсной фазы поддаются разделению под действием одной силы тяжести. Если плотность дисперсной фазы больше плотности дисперсионной среды, взвешенные частицы оседают на дно сосуда, и, наоборот, если плотность дисперсионной среды больше плотности взвешенных частиц, последние всплывают вверх. Осаждение под действием силы тяжести твердых частиц, находящихся во взвешенном состоянии в жидкой среде, называется отстаиванием (сгущением, седиментацией). Практически методом отстаивания пользуются главным образом для разделения грубых суспензий.

В тех случаях, когда при разделении суспензий недопустимы потери жидкости с осадком или взвешенные твердые частицы весьма плохо оседают, или необходимо выделить твердую фазу в виде осадка с некоторым минимальным содержанием влаги, метод отстаивания неприменим. В этих случаях суспензии разделяют фильтрацией.

Фильтрация как универсальный метод разделения суспензии находит в настоящее время широкое применение в технике, начиная от самых грубых суспензий и кончая тонкими мутями.

Известно, что при перемещении тела в жидкой среде последняя оказывает сопротивление, которое складывается из сопротивления от инерции среды (динамическое) и сопротивления от трения (вязкости). При небольшой скорости перемещения и малых размерах тела или его обтекаемой поверхности преобладает сопротивление от трения.

Скорость осаждения шарообразных частиц диаметром менее 0,175 мм в зависимости от вязкости среды определяется по формуле Стокса

$$\omega_{oc} = \frac{d^2 (q_1 - q_2) g}{18\mu} \text{ см/сек.} \quad (1)$$

Для частиц диаметром 1,5—15 мм скорость осаждения определяется по формуле Риттингера

$$\omega_{oc} = \sqrt{\frac{2d (q_1 - q_2) g}{q_2}} \text{ см/сек.} \quad (2)$$

Скорость осаждения частиц диаметром 0,175—1,5 мм можно определить по формуле Аллена

$$\omega_{oc} = \left(\frac{4g}{30q_2 \sqrt{v}} \right)^{\frac{2}{3}} d (q_1 - q_2)^{\frac{2}{3}} \text{ см/сек.} \quad (3)$$

Здесь d — диаметр падающей частицы в см;
 q_1 и q_2 — плотность частицы и среды в г/см³;
 $g = 9,81$ — ускорение силы тяжести в см/сек²;
 μ — коэффициент вязкости в г/см·сек;
 v — коэффициент кинематической вязкости в см²/сек.

Из уравнений (1), (2) и (3) следует, что скорость осаждения по закону Стокса пропорциональна d^2 ; по закону Аллена — d ; по закону Риттингера — $\sqrt{d}$.

Поскольку с уменьшением размера частиц их объем уменьшается быстрее, чем полная поверхность, а силы сопротивления пропорциональны полной поверхности, то действие объемных сил будет сравнительно невелико, а поэтому и абсолютная скорость перемещения мелких зерен в воде под действием сил тяжести будет небольшой.

Одновременно с преимущественным влиянием поверхностных сил при движении частиц в жидкости под влиянием поля тяготения весьма существенной является разность плотностей среды и частиц. При незначительной разности плотностей и небольших размеров частиц абсолютные скорости их будут ничтожно малыми, т. е. практически процесс отстаивания в поле сил тяжести будет неэффективен.

Из изложенного видно, что увеличение скорости отстаивания (всплывания) можно достигнуть: увеличением размера частиц; увеличением разницы между плотностями частиц и среды; уменьшением вязкости и среды и увеличением ускорения.

Первых три пути увеличения скорости отстаивания в производственных условиях практически неприменимы. Улучшение и интенсификация процесса отстаивания могут быть достигнуты только увеличением ускорения, т. е. применением центробежного эффекта.

В этом случае при соответствующих условиях получаемые ускорения могут превосходить в сотни раз ускорение силы тяжести.

В промышленности этот принцип уже давно используется для разделения жидкостей, имеющих различные плотности, или для выделения мелких нерастворимых частиц при помощи различных центрифуг.

Промышленные способы центрифугирования суспензий следует относить к одному из следующих процессов: центрифугальному осветлению; отстойному центрифугированию и центробежной фильтрации.

Центрифугальное осветление — это процесс удаления из жидкости загрязнений (в небольших количествах), осуществляемый в сплошных роторах центрифуг. Этот процесс применяется главным образом при обработке тонких и коллоидных суспензий, поэтому для его осуществления необходимо создание мощного центробежного поля.

Центрифугальное осветление является простейшим процессом центрифугирования. С физической точки зрения его можно рассматривать как свободное движение частиц твердой фазы под действием центробежного поля.

Отстойное (или осадительное) центрифугирование — этот процесс разделения суспензий со значительным содержанием твердой фазы, осуществляемый в сплошных роторах центрифуг.

В общем случае отстойное центрифугирование состоит из двух физических процессов: осаждения твердой фазы, протекающего по гидродинамическим законам сопротивления среды движению находящегося в нем тела и уплотнения осадка, происходящего по законам механики дисперсных систем.

Центробежная фильтрация — это процесс разделения суспензий путем центрифугирования их в дырчатых роторах центрифуг.

С физической точки зрения центробежная фильтрация складывается из следующих процессов: удаления жидкости через дисперсный осадок; уплотнения осадка и удаления из него жидкости.

Центробежная фильтрация наиболее эффективна, когда необходимо получить продукт с наименьшей влажностью или когда требуется промывка осадка.

Все вышеперечисленные способы применения центробежного эффекта требуют создания высокооборотных с высокими прочностными характеристиками машин из-за больших динамических напряжений в ответственных частях, а также специального привода.

Наиболее простыми по конструкции и дешевыми аппаратами, использующими действие центробежной силы, являются гидроциклоны.

В отличие от сгустителей и осветлителей, работающих по принципу действия силы тяжести и производящих сепарацию

практически в спокойной среде, гидроциклон действует, как пропорциональный разделитель. Поэтому осветленная жидкая фаза содержит определенное количество твердого продукта и не может быть чистой.

Задача получения возможно более чистого верхнего продукта находится в противоречии с требованием получить возможно более сгущенный нижний продукт. Однако при двуступенчатом последовательном соединении гидроциклонов можно удовлетворить одновременно обоим требованиям.

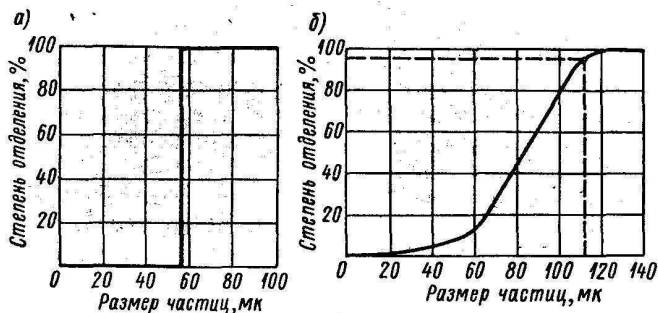


Рис. 1. Зависимость степени разделения в гидроциклонах от размера частиц (по Травинскому)

Абсолютного разделения в гидроциклонах достичь невозможно (рис. 1, а). Все сепараторы, работающие по поточному принципу, имеют S-образную характеристику, аналогичную характеристике гидроциклона (рис. 1, б). Диаграмма на этом рисунке построена для гидроциклона диаметром 350 мм, давлением питания 1,5 кг/см² при отделении кварцевого песка 112 мм. Степень отделения 95% [15].

Указанный недостаток не является препятствием для внедрения гидроциклонов в промышленность. Особенно целесообразно использовать гидроциклоны в сочетании с другими аппаратами. Например, процесс промывки может быть осуществлен при помощи гидроциклонов, а сгущение (крахмал, пластмассы) — при помощи центрифуг или сепарация — гидроциклонами, а обезвоживание (мел) — центрифугами [15]. Гидроциклоны применяются для предварительного сгущения суспензии (соль), поступающей на центрифуги.

Эффективна совместная работа гидроциклонов — предварительных сгустителей и барабанных фильтров — для обезвоживания подобно совместной работе центрифуг и сушилок, когда центрифуги используются для предварительного обезвоживания материалов перед тепловой сушкой.

В соответствии с размерами ячеек сит фильтрующие центрифуги могут применяться для отделения твердых частиц с мини-

мальным размером (60—100 мк). Преимущество гидроциклонов состоит в том, что они могут отделять частицы размером до 5 мк. Однако на центрифугах достигаемое сгущение суспензии может значительно превзойти предел ее текучести. Центрифуги обезвоживают многие материалы до остаточного содержания влаги в несколько процентов. Этим определяется принципиальное различие применения гидроциклонов и центрифуг: обезвоживание — в центрифугах и непрерывное разделение — в гидроциклонах. Если достаточно сгущение в пределах текучести материала, то при больших объемах обрабатываемого продукта гидроциклоны вследствие большей надежности их конструкции (нет вращающихся частей) имеют преимущества перед центрифугами.

2. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ГИДРОЦИКЛОНОВ И ОТЛИЧИЕ ИХ ОТ АЭРОЦИКЛОНОВ И ЦЕНТРИФУГ

Гидроциклон (рис. 2) представляет собой аппарат, состоящий из цилиндрической части 1, к которой снизу примыкает широким основанием коническая часть 7, а сверху крепится промежуточная сливная камера 3 с патрубком 2 для отвода верхнего продукта. Между цилиндрической частью и сливной камерой устанавливается диафрагма 4 с патрубком 6, а в нижней части конуса закрепляются сменные насадки 8. Движущихся частей в гидроциклоне нет.

Обычно гидроциклон устанавливают вертикально (вершиной конуса вниз), но он может быть также установлен и горизонтально или наклонно.

Исходная смесь поступает под давлением через входной патрубок 5 тангенциально в верхнюю часть цилиндра и приобретает круговое движение. При этом возникают значительные центробежные силы, превышающие в десятки и сотни раз силу тяжести, под действием которых более тяжелая фаза движется от оси гидроциклона к его стенкам по спиральной траектории вниз и через нижнюю насадку выбрасывается из гидроциклона. Более легкая фаза движется во внутреннем спиральном

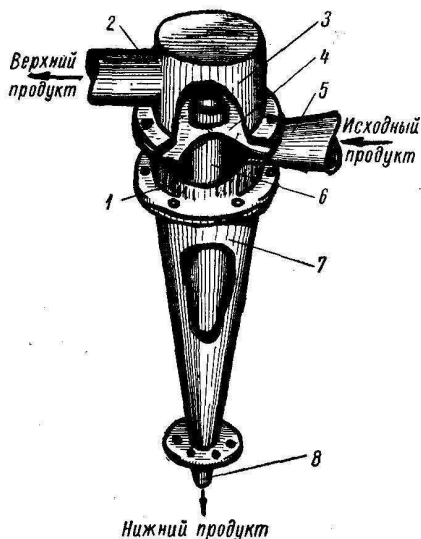


Рис. 2. Общий вид гидроциклона

потоке, направленном вверх, и выбрасывается из гидроциклона через патрубок для отвода верхнего продукта.

Вдоль оси гидроциклона образуется воздушный столб, имеющий важное значение для разделяющего действия гидроциклона.

При создании гидроциклона образцом служил аэроциклон, применяемый уже долгое время в качестве пылеуловителя. Логично было бы применить принцип аэроциклона и для обработки суспензий. Однако существенное различие между аэроциклоном и гидроциклоном основано на разных физических свойствах движущихся через них потоков, а именно: твердые частицы суспензии удерживаются в ней значительно сильнее, чем в газах. Это объясняется влиянием плотности среды, которое учитывается отноше-

нием $\frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_2}$, где ρ_1 — плотность частицы, ρ_2 — плотность среды. Это отношение для систем газ — твердое тело примерно в 30 раз больше, чем отношение для систем твердое тело — жидкость. Оно входит в качестве множителя в формулы осаждения Стокса и Ньютона. Кинематическая вязкость оказывает влияние в обратном направлении, причем для газов примерно в 10 раз меньше, чем для жидкостей. Вследствие того, что твердые частицы в жидкости удерживаются сильнее, а также ввиду несжимаемости жидкости изменение размеров и положения отводных патрубков влияет на движение твердых частиц в гидроциклоне больше, чем в аэроциклоне.

Отличие гидроциклона от аэроциклона состоит также в том, что в аэроциклоне среда, т. е. воздух, практически не находится под действием сил тяжести.

От центрифуги гидроциклон отличается прежде всего способом, которым приводится суспензия во вращение.

В центрифуге суспензия вращается вместе с барабаном при постоянной угловой скорости и не движется или незначительно движется относительно барабана; при этом на нее не действуют никакие касательные силы.

Ускорение a центростремительного движения в центрифуге тем больше, чем больше окружная скорость v_t .

Характер движения жидкости в гидроциклоне определяется скоростью жидкости в тангенциально расположенном питающем патрубке.

На взвешенные частицы действуют достаточно большие тангенциальные силы, поддерживающие их в непрерывном относительном движении.

Окружная скорость v_t жидкости меняется, повышаясь с уменьшением радиуса r конической части гидроциклона.

Для жидкости без учета трения

$$v_t r = \text{const.} \quad (4)$$

Для вязких жидкостей можно принять для определения составляющих скоростей следующий закон изменения:

$$v_t r^n = \text{const}, \quad (5)$$

где $n < 1$ — показатель степени.

При таком законе скорости на поверхности внутренней стенки гидроциклона будут меньше идеальной, однако они не будут равны нулю, что, естественно, противоречит обычно применяемым положениям в теории течения вязких жидкостей.

Радиальное ускорение a_r , которое имеет очень важное значение для разделения, определяется по уравнению

$$a_r = \frac{v_t^2}{r}. \quad (6)$$

Из уравнения (4) имеем

$$v_t = \frac{\Gamma}{2\pi r},$$

тогда

$$a_r = \frac{\Gamma^2}{4\pi^2} \cdot \frac{1}{r^3}. \quad (7)$$

Из уравнения (7) видно, что ускорение сильно возрастает с уменьшением радиуса вращения. Поэтому корпус гидроциклона имеет сужение от входа к выходу: при такой форме достигается увеличение центробежного ускорения. Такую же форму имеют центрифуги с увеличивающимся радиусом корзины, например фильтрующие центрифуги со шнековой выгрузкой.

3. КОНСТРУКЦИЯ ГИДРОЦИКЛОНОВ

По конструктивным особенностям все гидроциклоны можно разделить на следующие группы.

Конические, получившие наибольшее распространение в промышленности и отличающиеся:

числом выдаваемых продуктов (два или три);

способом установки (вертикальные, горизонтальные и наклонные);

конструкцией верхней разгрузочной части, когда верхний продукт отводится из цилиндрической части гидроциклона непосредственно через отводной патрубок или через промежуточную сливную камеру. Иногда глубина погружения отводного патрубка в цилиндрическую часть плавно регулируется (бывают также гидроциклоны с открытым верхом);

способом установки и конструкцией питающего патрубка;

конусностью ($\alpha = 5 \div 90^\circ$);

относительной высотой цилиндрической части (от 0,2 до 4,0 диаметров гидроциклона);

конструкцией нижних насадок;
материалами, из которых изготавливается гидроциклон, или футеровкой внутренней поверхности;
способом регулировки работы гидроциклона (ручной или автоматической);

способом отвода верхнего и нижнего продуктов (под уровень отводимых продуктов или свободный).

Батареи, отличающиеся числом элементарных циклонов в батарее, конструкцией, размером и компоновкой, способами питания и отвода продуктов.

Трехпродуктовые, отличающиеся от конических тем, что они имеют две промежуточные камеры и два отводных патрубка для отвода верхнего продукта.

Цилиндрические состоят из двух гидроциклонов: основного — цилиндрического и перечистного — конического.

Винтовые, отличающиеся конструкцией направляющего устройства.

Турбоциклоны (центриклоны), отличающиеся от обычных гидроциклонов наличием турбинки, установленной внутри аппарата, а также конструкцией турбинки и способом отвода продуктов.

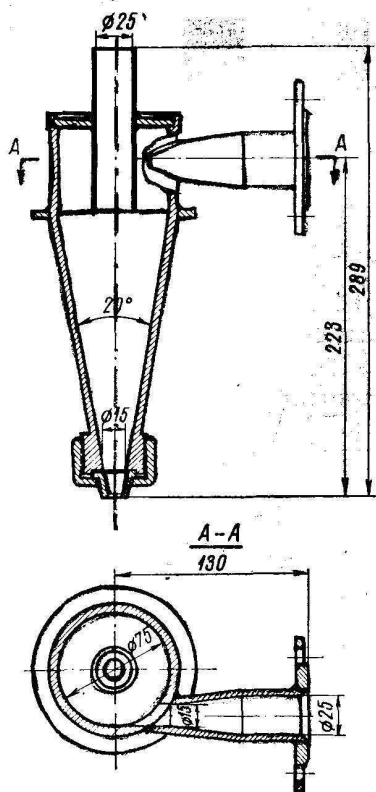


Рис. 3. Конический гидроциклон с отводом верхнего продукта непосредственно через отводной патрубок

Конические гидроциклоны

Наиболее широкое практическое применение нашли конические двухпродуктовые гидроциклоны.

На рис. 3 представлен конический гидроциклон с отводом верхнего продукта непосредственно через отводной патрубок, используемый для отделения мелких кусочков кости от жироводной смеси при производстве пищевых жиров.

Конструкция гидроциклона, разработанная для автоматизированного жирового цеха Ленмясокомбината им. С. М. Кирова, представлена на рис. 4. Этот гидроциклон применяется для отделения костного жира от воды с отводом верхнего продукта через промежуточную камеру и погружением конца отводной трубы