

ТОНКАЯ ОЧИСТКА ЖИДКОСТИ ОТ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»***Введение**

Очистка промышленных жидкостей от содержащихся в них твердых взвешенных частиц производится как для улучшения экологии, так и для удаления примесей, затрудняющих проведение технологического процесса, уменьшения износа оборудования. Требования к качеству очистки промышленных жидкостей возрастает также в связи с необходимостью точного учета расходных характеристик, а современные точные приборы учета весьма чувствительны к наличию твердых механических примесей в потоке измеряемой промышленной жидкости. Оборудование, используемое для тонкой очистки жидкости от механических примесей, весьма разнообразно, так как различные типы оборудования используют разные методы для очистки жидкости. Опубликованные в научно-технической литературе материалы с описанием различного оборудования для тонкой очистки жидкости разрознены, а иногда – противоречивы. В статье сделан обзор основных типов оборудования для тонкой очистки жидкости, собранный из различных источников.

Обзор оборудования используемого для тонкой очистки жидкости

Основными методами для очистки жидкости от механических примесей являются разделение в поле массовых сил (центробежных или гравитационных) и фильтрование. Реализация указанных методов на практике имеет следующий вид: гравитационное отстаивание, отстойное центрифугирование, центробежное фильтрование и фильтрование под действием сил давления [1]. Во многих случаях используются различные комбинации указанных методов. Выбор метода зависит от физико-механических свойств обрабатываемых суспензий, требуемых показателей разделения, экономической целесообразности и других факторов.

Для тонкой очистки жидкостей от механических примесей (менее 50 микрон) используется разделение в поле центробежных сил и фильтрование. Использование сил центробежного поля позволяет достигать величины фактора разделения (отношения центробежного ускорения к ускорению силы тяжести [1]) порядка сотен и даже тысяч единиц. Промышленной реализацией данного способа является проведение разделительных процессов в центрифугах, центробежных сепараторах и гидроциклонах различных типов. Величина фактора разделения в гидроциклонах колеблется обычно в пределах от 500 до 2000 [2], но может достигать значений порядка 5000 (мультигидроциклоны) [3].

Очистка жидкостей от механических примесей посредством фильтрования реализуется в фильтрах различных конструкций благодаря прохождению очищаемой жидкости через фильтровальную перегородку. Тонкость очистки определяется задерживающей способностью фильтровальной перегородки. Основы фильтрования подробно рассмотрено в работе [1].

С развитием автоматических приборов учета и контроля появились новые высокие требования к качеству измеряемых приборами учета и контроля или используемых в технологических схемах жидкостей. С задачей обеспечить очистку жидкости от частиц, не превышающих определенный размер, с тонкостью менее 10 микрон без угрозы проноса более крупных частиц при изменении расходных характеристик или изменении концентрации твердых частиц в потоке жидкости могут лишь некоторые типы фильтрующих элементов, мембранные технологии или другие сложные технологические комплексы. Аппарат для мембранного разделения при работе на предварительно неочищенном от механических примесей растворе может выйти из строя в течение нескольких дней или даже часов, а в случае предварительного удаления загрязнений срок службы вырастает многократно. Применение предфильтров в мембранной технологии требует обоснования критериев выбора их конструкций [4]. Фильтр должен оптимально сочетаться с типом мембранного аппарата, мембраной, принятой технологией. Важность правильного решения задачи определяется тем, что от 40 до 60 % общих затрат разделения растворов приходится на их предварительную обработку [5]. Для очистки рабочих жидкостей гидросистем в настоящее время применяются преимущественно фильтры тонкой очистки с тонкостью очистки 5–12 мкм. Требуемую тонкость очистки могут обеспечить лишь фильтрующие элементы объемного действия (глубинные фильтровальные перегородки) [6].

Тонкая очистка больших объемов жидкости при постоянном расходе и постоянной концентрации механических примесей может быть также реализована с использованием гидроциклонов (не тоньше 5 мкм) [7], а также центробежные очистители (не тоньше 2–3 мкм) [8].

Один из универсальных видов оборудования для осуществления этих процессов являются гидроциклонные аппараты, подробно и широко описанные в [7]. Гидроциклоны просты по конструкции и легко управляемы, дешевы в изготовлении, компактны и обладают высокой производительностью. Эти достоинства обусловили широкое применение гидроциклонов в различных отраслях промышленности. [3].

Типичная конструкция наиболее распространенного конического гидроциклона представлена на рис. 1 [3, 7]. Гидроциклон состоит из корпуса, составленного из конуса 2 и цилиндра 3, и закрытого сверху крышкой. Непосредственно под крышкой тангенциально к цилиндрической части расположен питающий патрубок 5, через который под давлением подается очищаемая жидкость. На оси гидроциклона в центре крышки расположен сливной патрубок 4, а в вершине конуса – разгрузочное отверстие. Его площадь может изменяться с помощью сменных разгрузочных насадок 1. Входное отверстие в нижнем конце сливного патрубка 4 называют сливным отверстием.

В некоторых конструкциях гидроциклона (рис. 1, б) имеется сливная камера 6. Слив при этом осуществляется через отводную трубу 7, установленную тангенциально к направлению вращения пульпы.

В гидроциклонах малого диаметра цилиндрическая часть чаще всего отсутствует [8].

Практика промышленного использования гидроциклонов достаточно полно отражена в технической литературе [2, 3, 7, 9–16]. К сожалению, анализ работы гидроциклонного оборудования в промышленных условиях затрагивает в подавляющем большинстве случаев лишь цилиндрические напорные гидроциклоны.

В работе [17] исследованы гидроциклоны с осевым завихрителем. Оптимальными являются углы закрутки 80–85°: при равной пропускной способности гидроциклоны

с осевыми завихрителями переменного по длине шага обладают гидравлическими потерями, в 2 раза меньшими, чем тангенциальные.

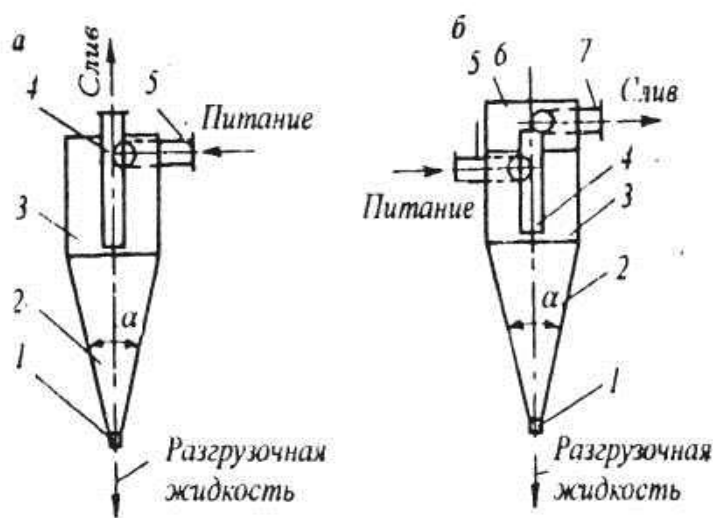


Рисунок 1 – Гидроциклон [7]

1 – разгрузочная насадка, 2 – конусная часть корпуса, 3 – цилиндрическая часть корпуса, 4 – сливной патрубок, 5 – питающий патрубок, 6 – сливная камера, 7 – отводная труба

В зависимости от назначения и конструктивных особенностей, конические гидроциклоны различаются способами подачи, установки и конструкции питающего патрубка, соотношением геометрических размеров и углов конусности (от 5° до 90°), конструкций насадок и способом их крепления, материалом футеровки, числом выдаваемых продуктов и способом подачи добавочной воды. Добавочная вода может подаваться в исходный продукт или в нижнюю часть для отмывки песков от тонких шламов. Основные параметры выпускаемых серийно конических гидроциклонов приведены в работах [3, 7].

При классификации гидроциклонов по конструктивному признаку кроме конических выделяют также цилиндрические, турбоциклоны, открытые и гидроэлеватор с циклонной приемной камерой, при этом цилиндрический гидроциклон не отличается по принципу действия от конического [3, 7, 8]

По назначению гидроциклоны делятся на классификаторы, сгустители, осветлители, разделители (в водной среде, в обычных суспензиях, в тяжелых суспензиях, в двух несмешивающихся жидкостях), гидроциклоны для гидротранспорта исходного продукта [3].

По величине входного давления гидроциклоны делятся на напорные (входное избыточное давление больше 10^5 Па), низконапорные (входное избыточное давление меньше 10^5 Па) и вакуумные (входное давление меньше атмосферного) [7, 8].

По способу обвязки и подключения гидроциклоны классифицируются на изготовленные в виде отдельных аппаратов и обвязанные в виде батареи. Также батарейные гидроциклоны различаются числом составляющих гидроциклонов, конструкцией, компоновкой, размером и т.д. [7, 8].

По схеме подключения различают одноступенчатые и двух ступенчатые, каскадные, комбинированные, последовательные гидроциклоны [3].

К основным недостаткам гидроциклонных аппаратов следует отнести эрозионный износ внутренних поверхностей при длительной эксплуатации, изменение показателей разделения при колебаниях концентрации и состава твердой фазы в питании аппарата, невозможность получения чистого осветленного продукта при разделении тонких суспензий и отделения взвешенных частиц с плотностью, близкой к плотности жидкости [7].

Первый недостаток легко устраним путем правильного подбора конструктивных материалов и защитных покрытий, а второй – за счет применения систем автоматического регулирования процесса разделения.

Во многих случаях недостатки гидроциклонов и, в частности, принципиальная невозможность получения абсолютно чистого осветленного продукта, невозможность выделения твердых частиц мельче 5 мкм – компенсируется целым рядом присущих им преимуществ, особенно при использовании гидроциклонов в сочетании с другими типами разделительного оборудования [18–21].

Для получения чистого осветленного продукта при разделении тонких суспензий и отделения взвешенных частиц малого размера и плотности, близкой или равной плотности жидкости с гидроциклоном совмещен фильтр (рис. 2).

Для тонкой очистки жидкостей (до 2–3 мкм) широко используются центробежные очистители с вращающимся ротором и укрепленными на нем пластинами. Конструкции и методы расчета центробежных аппаратов тонкой очистки рассмотрены в работе [22], описание основных конструкций приведено в [8].

Различают центробежные очистители грубой и тонкой очистки. Как правило, качество очистки определяется конструктивной схемой ротора или схемой центрифугирования [8].

Схема толстослойного центрифугирования для грубой очистки жидкости показана на рис. 3. Внутри вращающегося ротора 2 размещено центральное тело 3 (т.е. ось, вал, специальная вставка), задачей которого является выключение из работы околоосевой зоны низкой эффективности. Жидкость, содержащая загрязнители, проходит через кольцевой зазор толщиной $d_{\epsilon} = R - r_0$. Под действием центробежных сил загрязняющие примеси осаждаются на внутреннюю поверхность ротора. На рис. 3–5 стрелками показано направление движения жидкости через ротор. Достоинствами рассмотренной схемы центрифугирования являются простота и небольшая величина гидравлического сопротивления ротора, а недостатком – невысокая тонкость очистки, обусловленная большой величиной пути осаждения частиц d_{ϵ} и отставанием угловой скорости вращения жидкости ω_{ϵ} от угловой скорости вращения ротора ω .

Улучшение скорости очистки жидкости достигается в схеме тонкослойного центрифугирования суспензий (рис.4). Данная конструкция имеет ротор, содержащий блок концентрических цилиндров 2 и центральное тело. Очистка жидкости осуществляется одновременно в нескольких слоях толщиной $\Delta_1 \ll d_{\epsilon} = R - r_0$. Повышение тонкости очистки обеспечивается существенным уменьшением ширины зазоров Δ_1 , а также устранением проскальзывания жидкости ($\omega_{\epsilon} = \omega$) в результате использования радиальных перегородок 3. Толщина слоев Δ_1 увеличивается с ростом радиуса вращения, что компенсирует увеличение центробежной силы и обеспечивает одинаковую тонкость очистки жидкости во всех слоях.

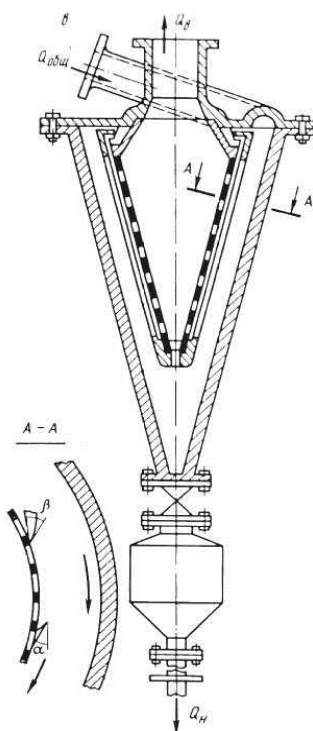


Рисунок 2 – Гидроциклон конический противоточный с сетчатым коническим элементом на выходе осветленного потока и бункером–накопителем сгущенного продукта [7]

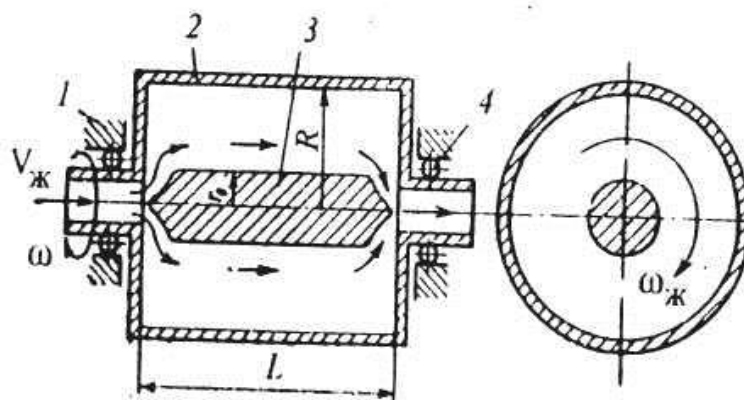


Рисунок 3 – Схема толстослойного центрифугирования суспензий в полном роторе [22]
1 – статор; 2 – корпус ротора; 3 – центральное тело; 4 – подшипник

Очень распространена схема центрифугирования, изображенная на рис. 5. Загрязненная жидкость движется в зазорах между коническими тарелками по направлению от периферии к оси вращения или наоборот. В ряде случаев в тарелках имеются отверстия для прохода суспензии. Частицы осаждаются на внутреннюю коническую поверхность тарелок 2, проходя путь, который в самом неблагоприятном случае не превышает d_e . Затем осевшие частицы под действием центробежных сил сползают по тарелке к ее периферии и могут снова попасть в поток жидкости. При этом крупные частицы, как правило осаждаются на внутреннюю цилиндрическую поверхность кор-

пуга ротора, а мелкие могут уноситься потоком в следующий (расположенный выше) межтарельчатый зазор.

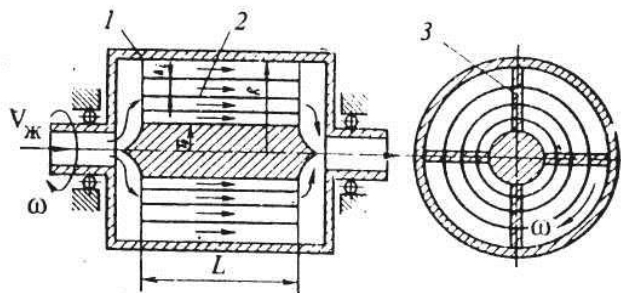


Рисунок 4 – Схема тонкослойного центрифугирования суспензий в роторе с блоком концентрических цилиндров (труб) переменного шага [22]

1 – корпус ротора, 2 – блок концентрических труб, 3 – радиальная перегородка

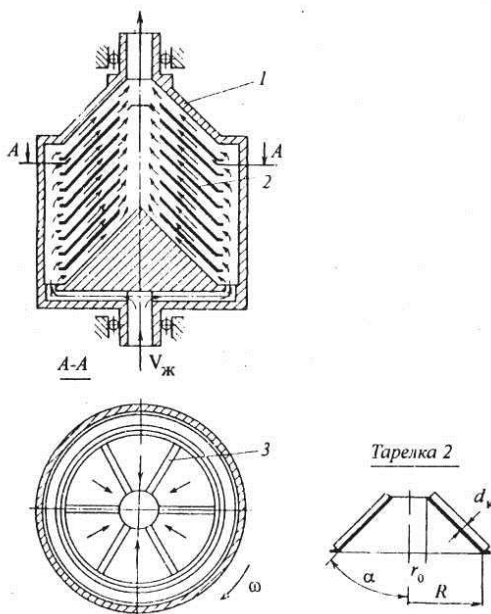


Рисунок 5 – Схема тонкослойного центрифугирования суспензий в роторе с пакетом конических тарелок [22]

1 – корпус ротора, 2 – коническая тарелка, 3 – радиальная перегородка

Недостатком этих трех схем очистки (схемы на рис. 3–5) является непосредственный контакт осажденной примеси и потока жидкости, что не исключает вымывания осажденных частиц, особенно при вибрации ротора, которой, как правило, нельзя избежать.

Для устранения указанного недостатка существует схема центрифуги с коническим ротором, включающая автоматическую грязеловушку [8].

Важным условием эффективности грязеотделения является обеспечение ламинарного режима течения жидкости в центробежном очистителе. Задача уменьшения локальной скорости потока решается в схеме секторно–секционного центрифугирования жидкости [8].

Подробная классификация центробежных очистителей описана в монографии П.Н. Белянкина [22]. Кратко основные классификационные признаки можно охарактеризованы в работе [8].

Главным признаком является тонкость очистки. Различают очистители для грубой (свыше 12–15 мкм) и тонкой (менее 10–12 мкм) очистки. К первым относятся очистители с полым ротором, ко вторым оборудованные специальными вставками.

В зависимости от вида привода центробежные очистители подразделяются на очистители с активным приводом ротора и с реактивным – по принципу сегнера колеса.

Центробежные очистители могут быть встроенными или автономными, а также могут одновременно с очисткой выполнять функции насоса.

Классифицируются центробежные очистители также по направлению главного движения жидкости и загрязняющих примесей в роторе.

В монографии [22] приведена также подробная классификация вставок ротора центробежных очистителей. Автор этой книги описывает ряд серийно выпускаемых аппаратов для очистки жидкости.

Подробные методики расчета центробежных очистителей жидкости и ряд результатов экспериментальных исследований также представлены в работе [22].

Заключение

Таким образом, для реализации тонкой очистки жидкости создано большое количество технических решений. Они реализованы в нескольких основных типах оборудования: гидроциклоны, центробежные очистители и фильтры, обзор которых сделан в статье. Указанные типы оборудования часто используют совместно в комбинированных системах. В следствие развития техники и использования более совершенных технологий, требующих качественно подготовленную рабочую жидкость, дальнейшая разработка высокоэффективных аппаратов для тонкой очистки жидкости от механических примесей является актуальной и необходимой.

Литература

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1973. 750 с.
2. Поваров А.И. Гидроциклоны. М.: Госгортехиздат, 1961. 266 с.
3. Мустафаев А.М., Гутман Б.М. Гидроциклоны в нефтедобывающей промышленности. М.: Недра, 1981. 260 с.
4. Поляев В.М., Майоров В.А., Васильев Л.Л. Гидродинамика и теплообмен в пористых элементах конструкций летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1988.
5. Дытнерский Ю.И., Качаров Р.Г. Некоторые проблемы теории и практики использования баромембранных процессов. – Журнал Всес. хим. о-ва им. Д.М. Менделеева, 1987, 32, №6, с. 607–614.
6. Ельшин А.И. Тенденции развития фильтрования и фильтровального оборудования. – Химическое и нефтеперерабатывающее машиностроение. – Обзор информ. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш. Сер. ХМ–1, 1992.

7. Терновский И.Г., Кутепов А.М. Гидроциклонирование. – М.: Наука, 1994. – 350 с.
8. Халатов А.А., Авраменко А.А., Шевчук И.В. Теплообмен и гидродинамика в полях центробежных массовых сил: В 4-х т.–Киев: Ин-т техн. теплофизики НАН Украины, 2000. – Т.4: Инженерное и технологическое оборудование. – 212 с.; ил. 126.
9. Поваров А.И. Гидроциклоны на обогатительных фабриках. М.: Недра, 1978. 232 с.
10. Андреев Р.Н., Гулюк Н.Г., Лейберман Л.А. и др. Опыт внедрения гидроциклонных установок на картофелекромальных заводах. М.: АгроНИИТЭИПП, 1989. 24 с.
11. Батуров В.И., Лейбовский М.Г. Гидроциклоны: Конструкции и применение. М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1973. 59 с.
12. Бочков А.Д., Батуров В.И. О показателях центробежных аппаратов для разделения суспензий // Тр. ГПИ. Химия и хим. технология неорган. пр-ств. 1972. Т. 28, вып. 13. С. 12–14.
13. Дубинская Ф.Е. Разработка безотходной технологии на базе мокрой очистки газов // Хим. и нефт. машиностроение. 1984. № 2. С. 8–9.
14. Курочичский Ч.К., Лейберман Л.А., Холмянский Ю.А. и др. Контроль работы мультициклонных установок // Сахар. пром-сть. 1985. № 2. С. 38–39.
15. Найденко В.В. Применение гидроциклонов в технологических процессах очистки природных и сточных вод // Исследование и промышленное внедрение гидроциклонов. Горький, 1981. С. 171–180.
16. Скирдов И.В., Пономарев И.Г. Применение гидроциклонов для очистки сточных вод // Исследование и промышленное внедрение гидроциклонов. Горький, 1981. С. 180–188.
17. Найденко В.В. Применение математических методов и ЭВМ для оптимизации и управления процессами разделения суспензий в гидроциклонах. Горький: Волго-Вят. кн. изд-во, 1976. – 290 с.
18. Мустафаев А.М., Гутман Б.М. Теория и расчет гидроциклона. Баку: Маариф, 1969. 172 с.
19. Шестов Р.Н. Гидроциклоны. Л.: Машиностроение, 1964. 80 с.
20. Карпычев В.А., Семенов Е.В. Гидромеханические процессы технологической обработки молочных продуктов. М.: Пищ. пром-сть, 1982. 240 с.
21. Эрикссон Е. История развития циклонов // Тр. Механобр. Л., 1961. Вып. 130. С. 17–24.
22. Белянин П.Н. Центробежная очистка рабочих жидкостей авиационных гидросистем. – М.: Машиностроение, 1976. – 326 с.

УДК 66.067.33

Паккі Г.В.

ТОНКЕ ОЧИЩЕННЯ РІДИНИ ВІД МЕХАНІЧНИХ ДОМШОК

В статті проведений огляд основних методів поділу суспензій. Представлено основні типи устаткування, що використовуються для тонкого очищення рідини від твердих часток. Дано оцінку ефективності тонкого очищення рідини гідроциклонами, відцентровими очисниками та фільтрами по їхній властивості відділення часток у залежності від розміру частки.