

*Научный сотрудник Бревнов А.А.
студентка Бревнова Ю.А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ФИЛЬТРА С ЗАКРУТКОЙ ПОТОКА ЖИДКОСТИ НА ВХОДЕ

Запропоновано спосіб визначення раціональних параметрів гідродинамічного фільтра з закрученням потоку рідини на вході, що має певні переваги в зрівнянні з традиційним гідродинамічним фільтром.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Для эффективной и бесперебойной работы металлургических предприятий необходима техническая вода в больших количествах с загрязненностью, не превышающей определенный уровень. Поэтому вопрос создания недорогих и эффективных устройств очистки жидкостей от разного рода примесей становится все более актуальным.

Известные устройства очистки жидкостей в той или иной степени решают этот вопрос, но область рациональных параметров каждого устройства не перекрывает всего диапазона возможных условий работы.

Создание сетчатого фильтра, использующего закрутку потока, является перспективным из-за улучшения условий создания гидродинамического эффекта на сетке в сравнении с традиционным гидродинамическим фильтром. Гидродинамический фильтр, использующий закрутку потока, обладает всеми преимуществами гидродинамического непоточного фильтра и, кроме того, позволяет добиться уменьшения потерь на слив из-за возможности обеспечения большего отношения касательной составляющей скорости несущего потока к радиальной.

Анализ исследований и публикаций. Так как для улучшения гидродинамических условий в разрабатываемом фильтре используется закрутка потока на входе, необходимо сравнить такое устройство очистки с гидроциклонами.

Обобщение результатов испытаний гидроциклонов различных конструкций [1], [2] показало, что гидроциклоны эффективны лишь при разделении фаз с концентрацией взвешенных веществ 0,8-1 г/л и более. Причем, эффект осветления приближается к 100% при содержании твердого в питании более 7 г/л.

В результате сравнения гидродинамического фильтра с закруткой потока на входе с гидроциклонами можно отметить следующие преимущества разрабатываемого устройства:

- возможность работы в напорных линиях;
- более низкий перепад давления на фильтре,
- улучшение качества очистки при малой загрязненности исходной среды (до 1-2 г/л).

В работе [3] обоснована конструкция гидродинамического фильтра, использующего закрутку потока в сочетании с фильтровальной перегородкой и предложена методика его расчета.

Существенным моментом в конструкции такого фильтра является подбор конструктивных параметров, позволяющих добиться отбрасывания твердых частиц, соизмеримых с размером ячейки сетки и более к непроницаемой поверхности. Это важный момент, так как именно такие частицы являются наиболее опасными в смысле засорения сетки. Кроме того, непопадание на сетку частиц определенного размера приводит к уменьшению концентрации загрязнений в области сетки, т.е. в зоне действия гидродинамического эффекта.

Таким образом, при создании гидродинамического фильтра с закруткой потока в первую очередь необходимо определить, какую скорость закрутки потока нужно обеспечить для получения указанного эффекта.

Постановка задачи. Целью настоящей работы является определение области рациональных режимов работы гидродинамического фильтра, использующего закрутку потока, а также подтверждение полученных теоретических зависимостей по результатам работы экспериментального стенда.

Изложение материала и его результаты. Закрутка потока на входе в фильтр определяется расходом жидкости через фильтр и диаметром подводящего патрубка. Согласно исследованиям в работе [4] закрутка потока в кольцевой области затухает очень медленно, поэтому в первом приближении можно считать тангенциальную скорость в кольцевой щели постоянной по длине.

В работе [5] рассмотрены силы, действующие на твердую частицу в потоке закрученной жидкости между двумя коаксиальными цилиндрами и сделан вывод о необходимости в постановке задачи кроме силы лобового сопротивления принимать силу, возникающую из-за градиента давления в радиальном направлении и центробежную силу.

При рассмотрении сил, действующих на твердую частицу необходимо оценить их влияние на поведение частицы в потоке жидкости. В первом приближении это влияние можно рассмотреть на основе равно-

весия сил в радиальном направлении. Соответствующая расчетная схема приведена на рис.1.

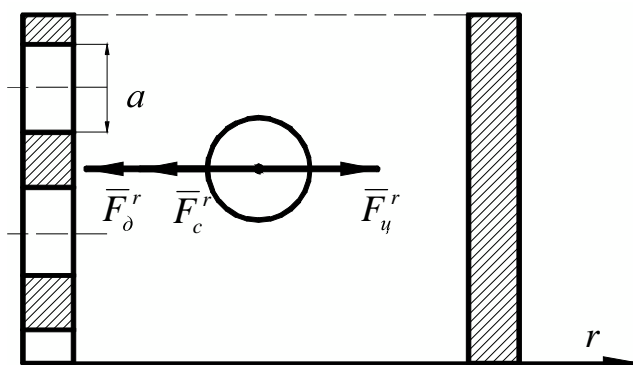


Рисунок 1 – Силы, действующие на твердую частицу в радиальном направлении.

Максимальная сила лобового сопротивления в радиальном направлении определяется расходом через фильтроэлемент и приближенно может быть рассчитана [5]:

$$F_c^r = -\frac{\rho}{2} \cdot (V - V_p) \cdot (V^r - V_p^r) \cdot \pi \cdot \frac{d_p^2}{4} \cdot C_x,$$

где ρ - плотность жидкости,

$(V - V_p)$ - разность скоростей соответственно жидкости и частицы,

$(V^r - V_p^r)$ - разность радиальных составляющих скорости соответственно жидкости и частицы,

d_p - диаметр твердой частицы,

C_x - коэффициент лобового сопротивления, который в оценочном анализе упрощенно можно определить [6]:

$$C_x = \frac{33}{Re},$$

где Re - число Рейнольдса.

Число Рейнольдса при обтекании частицы определяется:

$$Re = \frac{(V - V_p) \cdot d_p}{\nu},$$

где ν - кинематическая вязкость жидкости.

Примем для порядка разности $(V^r - V_p^r)$ в пределе значение V^r , которое оценим отношением расхода жидкости к площади проникаемой поверхности:

$$V^r - V_p^r = \frac{Q}{2\pi \cdot R \cdot L \cdot A'_0}, \quad (1)$$

где R - радиус фильтроэлемента,

L - длина проницаемой поверхности,

A'_0 – коэффициент живого сечения фильтроэлемента, равный отношению площади всех отверстий в фильтровальной поверхности к площади той же поверхности без отверстий. Для перфорированной трубы с круглыми отверстиями, изготовленной в лаборатории гидродинамики и фильтровальной техники ДонГТУ, коэффициент A'_0 составил 0,57.

Центробежная сила, действующая на твердую частицу будет равна [7], [8]:

$$F_{ц}^r = \frac{V_{\theta}^2}{R} \rho_p \frac{\pi \cdot d_p^3}{6},$$

где ρ_p - плотность скорость твердой частицы.

Сила, возникающая из-за градиента давления в радиальном направлении [5]

$$F_{\partial}^r = -\frac{V_{\theta}^2}{R} \rho \cdot \frac{\pi \cdot d_p^3}{6}.$$

Условия равновесия, когда сумма указанных выше сил будет равна нулю, дает возможность определить минимальный размер твердой частицы фиксированной плотности, которая гарантированно не попадет на поверхность фильтроэлемента:

$$-\frac{33}{8} \cdot v \cdot \pi \cdot d_p \cdot \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot L \cdot A'_0} \cdot \rho - \frac{V_{\theta}^2}{R} \cdot \rho \cdot \frac{\pi \cdot d_p^3}{6} + \frac{V_{\theta}^2}{R} \rho_p \frac{\pi \cdot d_p^3}{6} = 0. \quad (2)$$

Из полученного равенства можно вывести зависимость расхода через фильтр от радиуса фильтроэлемента при различных значениях окружной скорости:

$$Q = \frac{32 \cdot \pi \cdot V_{\theta}^2 \cdot R \cdot d_p^2 \cdot A'_0 \cdot (\rho_p - \rho)}{99 \cdot v \cdot \rho}. \quad (3)$$

С другой стороны, твердая частица, которая преодолела действие центробежной силы и приблизилась к сетке, находится под влиянием сил со стороны потока жидкости, как в радиальном, так и в тангенциальном направлении. Условием непрохождения твердой частицы сквозь ячейку фильтроэлемента является [9] расположение линии действия суммарного вектора скорости выше точки А по рис. 2.

$$\frac{d_p}{2a} > \frac{V_r}{V_\theta},$$

где a – размер ячейки сетки,
 V_r – скорость жидкости в ячейке фильтровальной сетки,
 V_θ – касательная к поверхности фильтроэлемента скорость потока жидкости.

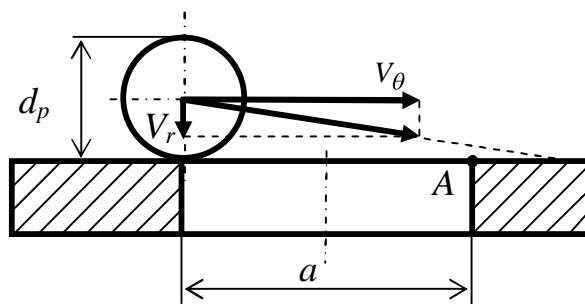


Рисунок 2 – Схема гидродинамического фильтрования.

В оценочном анализе примем скорость жидкости V_r , определяемой расходом через поверхность фильтроэлемента:

$$V_r = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot L \cdot A'_0 \cdot A''_0},$$

где A''_0 – коэффициент живого сечения фильтровальной сетки с подложкой. Для сетки № 0071 с размером ячейки 71 мкм и подложкой с размером ячейки 1 мм коэффициент A''_0 составил 0,21.

Касательная скорость V_θ определяется продольной составляющей потока жидкости относительно поверхности фильтроэлемента и тангенциальной составляющей. Так как продольная составляющая намного меньше тангенциальной, тем более в конечных сечениях фильтроэлемента, где расход жидкости на порядок меньше общего расхода, для оценки принимаем тангенциальную составляющую скорости, определяемую закруткой на входе.

Длину фильтроэлемента примем из конструктивных соображений $L = 2,5R$.

Тогда из полученного неравенства

$$\frac{d_p}{2a} > \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot L \cdot A'_0 \cdot A''_0 \cdot V_\theta}$$

можно вывести зависимость расхода от размера фильтроэлемента, при удовлетворении которой частица определенного диаметра не должна пройти сквозь ячейку фильтроэлемента:

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot L \cdot A'_0 \cdot A''_0 \cdot V_\theta \cdot d_p}{2a} . \quad (4)$$

Рассмотрим равновесное состояние в радиальном направлении твердой сферической частицы с плотностью $\rho_p = 2100 \text{ кг/м}^3$, диаметром, соизмеримым с размером ячейки фильтровальной сетки в свету $d_p = 70 \text{ мкм}$, и построим зависимость расхода от диаметра фильтроэлемента $D_\phi = 2R$ при величине тангенциальной скорости $V_\theta = 4 \text{ м/с}$ по формуле (3) на рис. 3.

На том же рисунке покажем зависимость, рассчитанную по формуле (4) для твердой сферической частицы той же плотности, диаметром $d_p = 25 \text{ мкм}$.

Анализ зависимостей на рис. 3 дает возможность подобрать наиболее рациональные параметры работы гидродинамического фильтра, использующего закрутку потока на входе.

Прямой линией показана зависимость, рассчитанная по формуле (3), параболическая зависимость рассчитана по формуле (4). Точка пересечения прямой линии с параболой показывает соответствие диаметра фильтроэлемента расходу через фильтр, при котором твердые частицы определенной плотности, соизмеримые с размером ячейки сетки не подходят к сетке за счет действия центробежной силы, в то же время частицы более мелкие попадают на сетку, но не проходят сквозь ячейку за счет действия гидродинамического эффекта.

Таким образом, в результате проведенного анализа можно предположить, что рациональная работа гидродинамических фильтров, использующих закрутку потока, определяется областью, перекрываемой обеими функциями по рис. 3, при концентрации твердых примесей в исходной среде, по крайней мере, до 2 г/л.

Дифференциальные уравнения, на основе которых в работе [10] был произведен расчет параметров потока жидкости в кольцевой области фильтрования, соответствуют ламинарному режиму течения. Хотя закрученный поток, как это имеет место в гидроциклонах, вряд ли можно назвать ламинарным, однако наличие узкого кольцевого зазора в области фильтрования разрабатываемого фильтра в совокупности с интенсивным отсосом жидкости сквозь фильтровальную сетку дают возможность обеспечить устойчивость течения и говорить о правомерности предложенной ранее расчетной схемы.

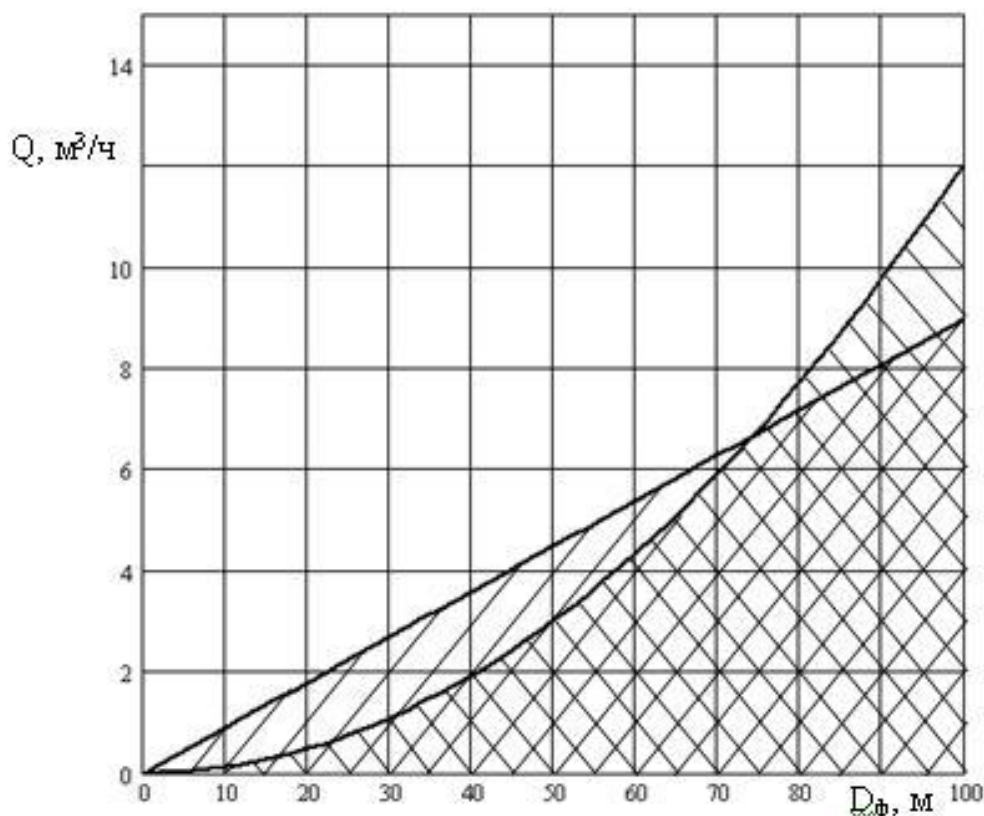


Рисунок 3 – Область рациональных параметров гидродинамического фильтра с закруткой потока жидкости.

Для того чтобы подтвердить существование ламинарного режима в рассчитанном диапазоне расходов и закрутки потока, а также визуализировать процессы, происходящие при работе фильтра, был изготовлен макет гидродинамического фильтра использующего закрутку потока с прозрачной внешней стенкой, общий вид которого приведен на рис. 4, а гидравлическая схема испытательного стенда – на рис. 5.

Стенд работает следующим образом. Вода, содержащая твердые примеси с плотностью $\rho_p = 2100 \text{ кг/м}^3$ с концентрацией $c = 1,5 \text{ г/л}$ из емкости 1 с помощью насоса 3 подается через входной патрубок, установленный тангенциально, на вход фильтра 7. Основная часть жидкости отфильтровывается и по линии очищенной жидкости 8 подается в емкость 1. Часть неочищенной жидкости по линии 10 сбрасывается в ту же емкость, где перемешивается с чистой жидкостью и опять подается на вход фильтра. Тем самым поддерживается постоянная концентрация примесей в исходной среде. Расход, измеряемый расходомером 4, регулируется с помощью крана 2. Перепад давления на фильтре измеряется

с помощью манометров 5 и 6. Сброс неочищенной жидкости регулируется с помощью крана 9.



Рисунок 4. Общий вид макета фильтра

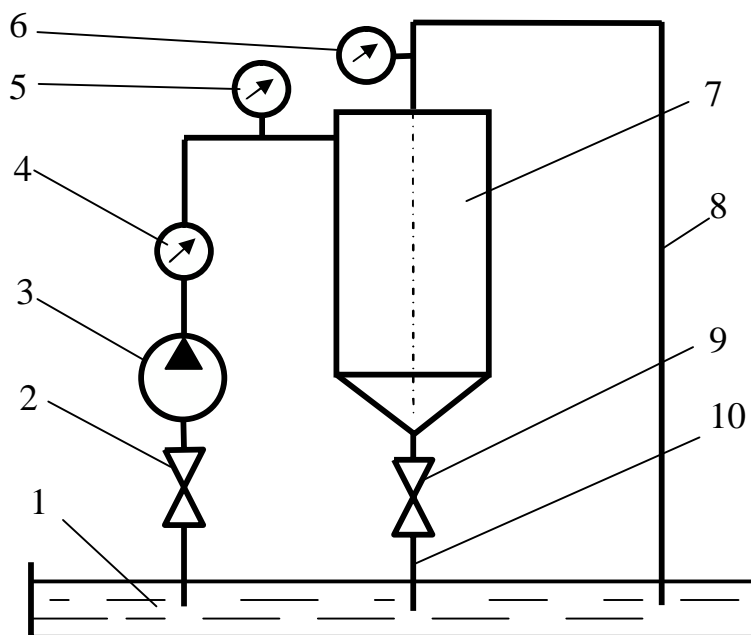


Рисунок 5 – Гидравлическая схема испытательного стенда.

В результате анализа работы макета гидродинамического фильтра, использующего закрутку потока, подтвердилось предположение об устойчивости течения в области фильтрования. Это было заметно по общему виду течения без явных признаков завихренности, по поведению ниток, укрепленных на поверхности фильтроэлемента, которые по-

сле достаточно быстрого установления режима вели себя стабильно, без колебаний.

Кроме того, по поведению ниток можно судить о сохранении интенсивной закрутки в конечных сечениях фильтроэлемента, что очень важно для эффективной работы гидродинамического эффекта.

Одной из потенциальных опасностей ухудшения работы фильтра является неполная работа фильтровальной сетки, когда могут возникать подсосы из зоны очищенной жидкости. Для проверки этого предположения внутрь фильтроэлемента вблизи крайних участков сетки подавалась краска под давлением. При потенциально интересных режимах работы фильтра явление подсоса в зону фильтрования не наблюдалось, что подтверждает правомерность предположения о равномерности течения жидкости.

Выводы и направление дальнейших исследований. В результате проведенного исследования можно сказать, что существует возможность создания гидродинамического фильтра с закруткой потока на входе при концентрации загрязнений в исходной среде до 2 г/л, обладающего такими преимуществами как небольшой перепад давления, невысокая чувствительность к параметрам сети, ограждение фильтровальной сетки от твердых частиц, соизмеримых с размером ячейки сетки, а также уменьшение сброса жидкости до 5-10% от общего расхода.

Направлением дальнейших исследований является проведение количественного эксперимента по определению эффективности работы фильтра предложенной конструкции, то есть по определению тонкости очистки при уменьшении количества сбрасываемой жидкости и сопоставление экспериментальных значений гидродинамических параметров фильтра с имеющимися расчетными результатами.

Предложен способ определения рациональных параметров гидродинамического фильтра с закруткой потока жидкости на входе, который имеет определенные преимущества в сравнении с традиционным гидродинамическим фильтром.

The way of definition of rational parameters of the hydrodynamic filter with twist of fluid flow in the entrance section, having the certain advantages in comparison with the traditional hydrodynamic filter is offered.

Библиографический список.

1. Поваров А.И. Гидроциклоны на обогатительных фабриках. М.: «Недра», 1978, - 232 с.
2. Водозаборно-очистные сооружения и устройства: Учеб. пособие для студентов вузов/ М.Г. Журба, Ю.И. Вдовин; Ж.М. Говорова,

И.А. Лушкин; Под ред. М.Г. Журбы. – М.: ООО «Издательство Астрель»: ООО «Издательство АСТ», 2003. – 569 с.: ил.

3. Бревнов А.А. Конструкция и расчет полнопоточного гидродинамического фильтра, использующего закрутку потока. *Всеукраїнський науково-технічний журнал «Промислова гідроліка і пневматика»* -№2 (8), 2005. –С.66-68.

4. Мочалин Е.В. Моделирование закрученных течений в рабочих полостях очистки жидких сред. – Сборник научных трудов. *Окружающая среда – человек, ресурсосбережение. Выпуск 2. Том 1.* Алчевск: ДГМИ, 1999. – с. 35-42.

5. Мочалин Е.В., Бревнов А.А. К постановке задачи о движении взвешенной частицы в закрученном потоке несущей жидкости между двумя соосными цилиндрами с учетом отсоса жидкости через внутренний цилиндр. – Сборник научных трудов (Вып. 13). Алчевск: ДГМИ, 2001. - с.210-218.

6. Белянин П.Н., Данилов .М. *Промышленная чистота машин.* - М.: Машиностроение, 1982. - 224 с.

7. Кизевальтер Б.В. *Теоретические основы гравитационных процессов обогащения.* М., «Недра», 1979. -295 с.

8. Акопов М.Г., Благоев И.С., Бунин Г.М. *Гравитационные и специальные методы обогащения мелких классов углей.* М., «Недра», 1975. – 248 с.

9. Финкельштейн З.Л. *Применение и очистка рабочих жидкостей для горных машин.* – М.:Недра, 1986.-232 с., с ил.

10. Бревнов А.А., Мочалин Е.В. "Расчет поля скоростей закрученного потока в кольцевой области с проницаемой стенкой". *Вісник Сумського державного університету*, 2003.- №12(58).- С.65-69.