

*к.т.н. Бревнов А.А.
(ДонГТУ, г.Алчевск, Украина, abrevnov@list.ru)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗДЕЛЕНИЯ ПОТОКА ОЧИЩЕННОЙ ЖИДКОСТИ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ФИЛЬТРЕ С ЗАКРУТКОЙ ПОТОКА

Розглянуто питання обґрунтування та розрахунку гідродинамічного фільтра, що використовує закрутку потоку в робочій порожнині з урахуванням розділення потоку очищеної рідини.

***Ключові слова:** гідродинамічний фільтр, закрутка потоку, область фільтрування, швидкість рідини, рівняння Нав'є-Стокса.*

Рассмотрен вопрос обоснования и расчета гидродинамического фильтра, использующего закрутку потока в рабочей полости с учетом разделения потока очищенной жидкости.

***Ключевые слова:** гидродинамический фильтр, закрутка потока, область фильтрования, скорость жидкости, уравнения Навье-Стокса.*

Введение

На современном этапе развития металлургической промышленности в Донбасском регионе необходимость в больших количествах технической воды не теряет своей актуальности. Многократное использование имеющихся водных ресурсов является не только экономически выгодным, но и вынужденной необходимостью в условиях ограниченности природных запасов.

На разных стадиях выплавки металлов требуется техническая вода с определенной степенью очистки от механических примесей. Чистота жидкости, участвующей в этом процессе, является показателем себестоимости конечного продукта. Поэтому внедрение в производство недорогостоящих и эффективных устройств очистки технической воды на металлургических предприятиях является актуальным.

Анализ последних достижений и публикаций

В работе [1] рассмотрен вопрос обоснования конструкции и возможности применения гидродинамического фильтра, использующего закрутку потока. Гидродинамический эффект, теоретические основы которого изложены в работе [2], может осуществляться различными способами. В предложенной конструкции обеспечение гидродинамиче-

ского эффекта по всей поверхности сетчатого фильтроэлемента производится за счет тангенциальной скорости несущего потока. При этом появляется возможность уменьшить сброс жидкости в линию слива до 3-5% от общего расхода по сравнению с традиционным гидродинамическим неполнопоточным фильтром.

При расчетах закрученных течений часто пользуются параметром, характеризующим закрутку потока, который называется параметром закрутки $tg\varphi$ [3]. Он определяется отношением тангенциальной скорости потока к осевой скорости. Однако расчет показывает, что параметр закрутки потока – $tg\varphi$ в конечных сечениях области фильтрования начинает значительно увеличиваться. Этот же факт подтверждается экспериментальными исследованиями [4]. Кроме того, во время проведения эксперимента по определению эффективности очистки от твердых частиц определенного размера было замечено, что при достаточно маленьком расходе на сброс, при котором по расчетам должно происходить нарушение нормального режима работы фильтра, действительно началось забивание фильтровальной сетки. Причем, твердые частицы, которые попадали на сетку, концентрировались в конечной части фильтроэлемента. Этот факт можно объяснить тем, что именно в конечных сечениях области фильтрования концентрация твердых частиц достигает максимальных значений, а тангенциальная скорость в этих сечениях несколько затухает. Нарушение эффективного режима работы фильтра вследствие уменьшения осевой скорости потока до предельных значений приводит к возникновению обратных токов в конечных сечениях, а также к образованию предотрывного характера течения, поэтому начинается постепенное засорение сетки.

Таким образом, уменьшение гидродинамического эффекта, а также повышенная концентрация твердых частиц в конечных сечениях области фильтрования делают эту область зоной повышенной загрязненности. На основании этого появляется возможность улучшить качество конечного продукта за счет разделения очищенной жидкости.

Постановка проблемы

Основная идея заключается в том, что жидкость, проходящая через фильтроэлемент в области до 85-90% длины фильтроэлемента имеет намного более низкую концентрацию твердых частиц определенного размера, чем остальная часть очищенной жидкости. Следовательно, разделение этих двух потоков может дать выигрыш в степени очистки некоторой части жидкости.

Этот факт может найти применение на производстве, где для работы необходимо использовать техническую воду с разной степенью очистки. В этом случае основная часть очищенной жидкости имеет низ-

кую концентрацию твердых частиц определенного размера, а остальная часть имеет большую концентрацию.

Целью работы является обоснование возможности расчета гидродинамического фильтра с закруткой потока с учетом разделения очищенной жидкости.

Основная часть

Общий вид гидродинамического фильтра с закруткой потока с разделением потока очищенной жидкости представлен на рисунке.

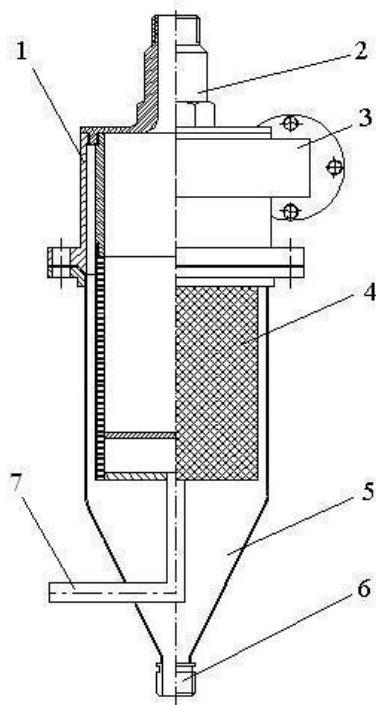


Рисунок 1 - Схема устройства очистки жидких сред от механических примесей

Фильтр состоит из цилиндрического корпуса 1, патрубка отвода очищенной жидкости первой ступени 2, патрубка тангенциального подвода очищаемой жидкости 3, цилиндрического фильтроэлемента 4, бункера 5 для осажденных частиц загрязнений, сливного отверстия 6 для удаления загрязнений и патрубка отвода очищенной жидкости первой ступени 7.

Фильтр работает следующим образом. Жидкость, подлежащая очистке, подается тангенциально на вход фильтра через патрубок 3, за счет чего достигается начальная закрутка потока. Закрученный поток попадает в кольцевую область фильтрования между корпусом 1 и фильтроэлементом 4, где происходит постепенный отсос жидкости. Основная часть очищенного потока (~85%) из фильтроэлемента 4 подается

на выход через патрубок 2, остальная часть очищенной жидкости (~10%) поступает в патрубок 7, а часть неочищенной жидкости (~5%), проходя вдоль поверхности фильтроэлемента, попадает в бункер для сбора загрязнений 5. Удаление осадка из бункера 5 происходит через сливное отверстие 6.

Закрутка потока, в результате которой на частицы жидкости действует объемное поле центробежных сил, позволяет, за счет соответствующего подбора конструктивных параметров, обеспечить отсутствие возможности контакта с сеткой частиц примесей, соизмеримых с ячейками сетки или крупнее. В то же время основная тонкость очистки достигается за счет гидродинамического эффекта, обусловленного тангенциальной составляющей скорости частицы на подходе к сетке.

Существенным моментом в конструкции разрабатываемого фильтра является подбор конструктивных параметров, позволяющих добиться отбрасывания твердых частиц, соизмеримых с размером ячейки сетки и более от проницаемой поверхности. 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.

В работе [3] получена система дифференциальных уравнений, которая позволяет определить три компоненты скорости жидкости в исследуемой кольцевой области:

$$u'' = u' \cdot \left(\frac{\nu(r)}{\nu} - \frac{1}{r} \right) + u^2 \frac{1}{\nu \cdot \Delta z} - u \frac{u_0}{\nu \cdot \Delta z} + \frac{1}{\nu \cdot \rho} \cdot \frac{dp_1}{dz}, \quad (1)$$

$$v_{i+1} = v_i \cdot \frac{r_i}{r_{i+1}} - \frac{r_i [u(r_i) - u_0(r_i)] + r_{i+1} [u(r_{i+1}) - u_0(r_{i+1})]}{2 \cdot r_{i+1} \cdot \Delta z} \Delta r_i, \quad (2)$$

$$w'' = \left(\frac{\nu}{\nu} - \frac{1}{r} \right) w' + \left(\frac{\nu}{r \cdot \nu} + \frac{1}{r^2} + \frac{u}{\nu \cdot \partial z} \right) w - \frac{u}{\nu} \cdot \frac{w_0}{\Delta z}, \quad (3)$$

$$p_1 = - \frac{\mu \cdot \int_{R_1}^{R_2} r \frac{\partial u}{\partial z} dr}{\lambda \cdot R_1}, \quad (4)$$

где Δz – шаг по оси z ;

u, v, w - соответственно осевая, радиальная и тангенциальная составляющие скорости потока;

z, r - соответственно осевая и радиальная координаты в цилиндрической системе координат;

ρ - плотность жидкости;

ν -молекулярная кинематическая вязкость жидкости;

v_i, v_{i+1} – радиальная скорость, соответственно, на текущем и последующем шаге по координате r ;

λ - коэффициент проницаемости поверхности, представляющий собой удельную пропускную способность единицы площади фильтрующей поверхности при перепаде давления в 1 Па и вязкости в 1 Па с;

μ – динамическая вязкость жидкости, Па с;

p_1 – давление на проницаемой поверхности;

R_1 – радиус проницаемой поверхности.

Численное решение уравнений (1)-(4) дает возможность подобрать геометрические размеры кольцевого канала с проницаемой внутренней поверхностью, в котором обеспечивается, по крайней мере, 5% сброс жидкости от общего расхода через проектируемое устройство очистки.

На основе полученного численного решения упрощенных уравнений Навье-Стокса в итерационном цикле (1)-(4) определяется величина кольцевого зазора из условия отсутствия признаков появления обратных течений. В результате повторных расчетов получается картина распределения трех компонент скорости потока и распределение давления в области фильтрования. Расчет необходимо производить до тех пор, пока при определенной угловой скорости не будут возникать предвестники отрыва потока.

Результаты расчета дают возможность исследовать степень закрутки потока в кольцевой области фильтрования, что особенно важно вблизи проницаемой поверхности. Одним из параметров, обычно используемых при исследованиях закрученных потоков, является параметр закрутки потока $tg\varphi$, определяемый отношением тангенциальной скорости потока к осевой скорости [3].

Исследование параметра закрутки потока $tg\varphi$ дает возможность говорить о том, что уменьшение осевой составляющей скорости в конечных сечениях области фильтрования вследствие отсоса жидкости, в сравнении с достаточно большой тангенциальной скоростью в этих сечениях приводит к более длительному нахождению твердых частиц в окрестности фильтровальной сетки. Это вызывает постепенное увеличение концентрации твердых частиц в этой области. Следовательно, па-

раметром, характеризующим повышение концентрации твердых частиц, может служить $tg\varphi$.

На рисунке 2 показан график изменения параметра закрутки $tg\varphi$ по длине области фильтрования при одном из расчетных режимов закрученного течения в кольцевой области с проницаемым внутренним цилиндром.

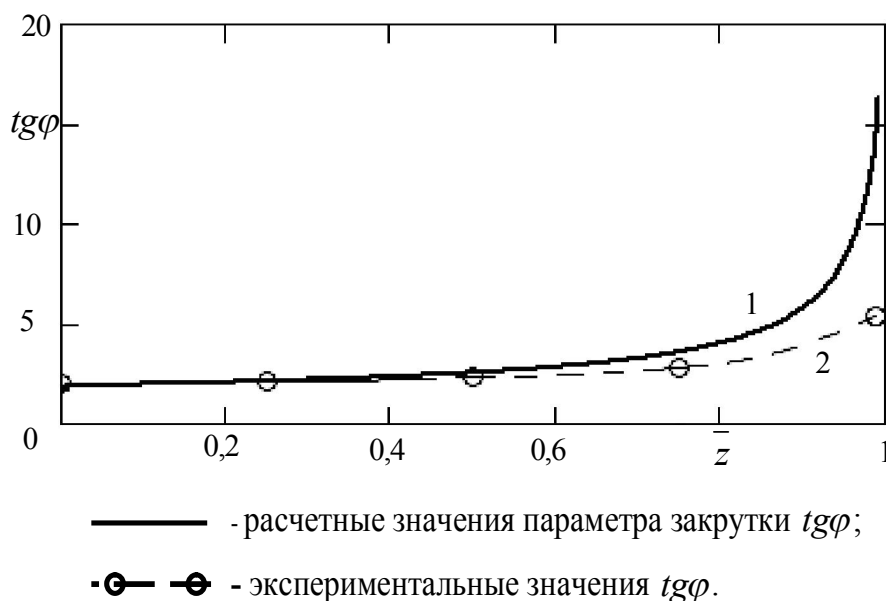


Рисунок 2 - Изменение параметра закрутки $tg\varphi$ по длине области фильтрования при высоте зазора $h = 3\text{мм}$

Согласно расчетам характеристик закрученного потока в кольцевой области с проницаемой внутренней поверхностью, а также по результатам экспериментальных исследований для некоторых режимов течения, параметр закрутки $tg\varphi$ начинает увеличиваться более интенсивно при относительной координате $\bar{z} = 0,85 - 0,9$. Следовательно, рациональным решением будет установить перегородку, разделяющую очищенную жидкость на два потока именно в таком сечении. Это даст возможность отделить жидкость с повышенной концентрацией твердых частиц примесей от основного потока очищенной жидкости. При этом в очищенной жидкости с любым уровнем концентрации загрязнений размеры частиц механических примесей не должны превышать предела, ограниченного гидродинамическим эффектом для соответствующих условий.

Выводы

Таким образом, в результате проведенного исследования была обоснована возможность расчета гидродинамического фильтра с закруткой потока с учетом разделения очищенной жидкости. При этом параметром, характеризующим положение разделительной перегородки, может служить параметр закрутки $tg\varphi$, определяемый отношением тангенциальной скорости потока вблизи проницаемой поверхности к осевой скорости.

Перспективы дальнейшего развития

Направлением дальнейшего развития работы является исследование поведения твердых частиц примесей в закрученном потоке области фильтрования гидродинамического фильтра предложенной конструкции, а также проверка предложенного варианта усовершенствования конструкции с помощью экспериментальных исследований на соответствие характеристик очищенной жидкости в разделенных потоках их расчетным значениям.

Библиографический список

1. Бревнов А.А. Обоснование конструкции гидродинамического неполнопоточного фильтра с закруткой потока / А.А. Бревнов // Сборник научных трудов ДонГТУ. - Алчевск, вып. 25. – 2007. - С. 208-218.
2. Финкельштейн З.Л. Применение и очистка рабочих жидкостей для горных машин / З.Л.Финкельштейн. –М.: Недра, 1986. – 232 с.: с ил.
3. Халатов А.А. Теплообмен и гидродинамика в полях центробежных массовых сил: в 4 т. / А.А. Халатов, А.А. Авраменко, И.В.Шевчук. – Киев: Ин-т техн. Теплофизики НАН Украины. – 2000, т. 3: Закрученные потоки. – 2000. – 474 с.: ил. 155.
4. Бревнов А.А. Экспериментальное исследование работоспособности гидродинамического неполнопоточного фильтра с закруткой потока / А.А.Бревнов // Сборник научных трудов ДонГТУ.- Алчевск, вып. 26. – 2008. - С. 231-240.
5. Бревнов А.А. Численное исследование задачи движения закрученного потока в кольцевом зазоре / А.А.Бревнов // Сборник научных трудов ДонГТУ.- Алчевск, вып. 28. – 2009. - С.294-304.

Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Мочалиным Е.В.