УДК 628.16.067: 66.067.3+669

Научный сотрудник Бревнов А.А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО НЕПОЛНОПОТОЧНОГО ФИЛЬТРА С ЗАКРУТКОЙ ПОТОКА

Проведено експериментальне дослідження основних параметрів закрученого потоку рідини в робочій порожнині гідродинамічного фільтра з закрученням потоку.

На современном этапе развития металлургической промышленности очистка больших объемов технической воды от механических загрязнений является одним из важнейших вопросов, определяющих эффективность работы большинства предприятий. Этот вопрос тем более актуален с точки зрения требований к экологической чистоте водных источников, которые задействованы в замкнутом цикле водооборота.

Разнообразие известных устройств очистки отработанных жидкостей от механических примесей дает возможность выбора схемы очистки, но каждый вариант имеет определенную сферу применения. Это заставляет ученых искать новые пути повышения эффективности очистки в широком диапазоне технических характеристик. Перспективным направлением такого поиска является использование закрутки потока очищаемой жидкости в гидродинамических фильтрах.

Сочетание закрутки потока с гидродинамической схемой фильтрования имеет перспективу улучшения гидродинамических характеристик в смысле ограждения фильтровальной сетки от частиц, соизмеримых с размером ячейки фильтровальной сетки за счет центробежных сил, а также обеспечение гидродинамического эффекта за счет тангенциальной скорости очищаемого потока [1].

В работе [2] приведен численный расчет параметров закрученного потока в кольцевой области с внутренним проницаемым цилиндром. Моделирование движения твердых частиц под действием сил со стороны потока рассмотрено в работе [3]. В работе [4] предложен способ определения рациональных параметров гидродинамического фильтра, использующего закрутку потока. Для подтверждения соответствия результатов, полученных в вышеназванных работах действительной картине

течения, необходимо проведение соответствующего экспериментального исследования.

Целью экспериментального исследования является подтверждение достоверности полученных результатов по определению гидродинамических характеристик закрученного потока жидкости в рабочей полости гидродинамического фильтра, а именно:

- наличие устойчивого ламинарного закрученного течения в кольцевой области фильтрования;
- отсутствие подсосов жидкости из области очищенной жидкости в область фильтрования;
- отсутствие обратных течений жидкости в области фильтрования;
- возможность уменьшения расхода жидкости на сброс до 5 % от общего расхода.

Для реализации этой цели был спроектирован макет гидродинамического фильтра с закруткой потока (рис.1). С целью визуализации процессов, происходящих внутри фильтра, корпус выполнен прозрачным, а на поверхности фильтроэлемента прикреплены нитки (рис. 2). На рисунке 3 показан общий вид экспериментального стенда.

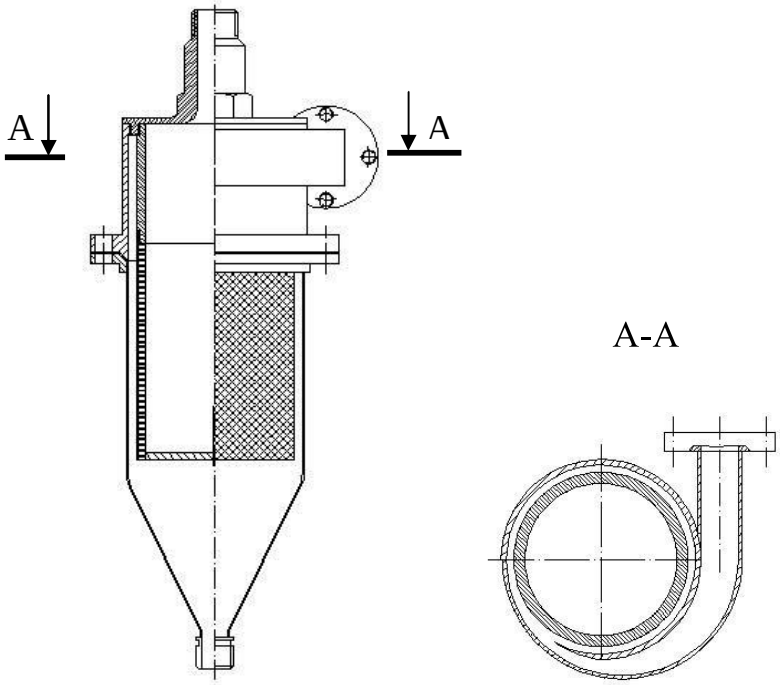

Рисунок 1 – Гидродинамический фильтр с закруткой потока

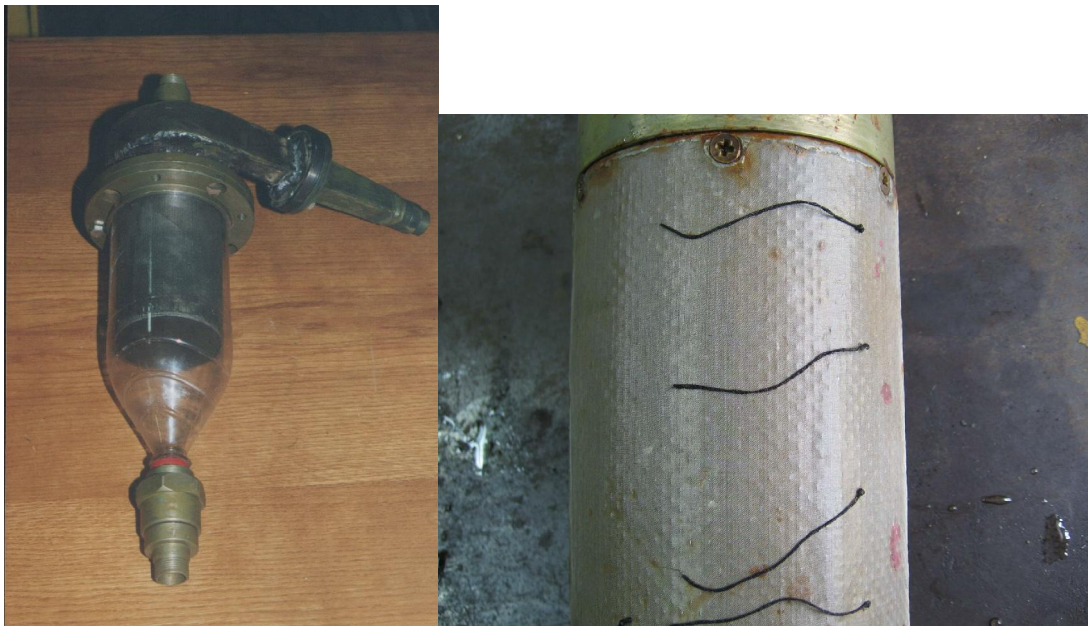

Рисунок 2 – Прозрачный корпус и фильтроэлемент с укрепленными нитками

Рисунок 3 – Общий вид экспериментального стенда

Стенд работает следующим образом. Вода, содержащая твердые примеси с плотностью $\rho_p = 2100$ кг/м^3 с концентрацией c=2 г/л из емкости 8 с помощью насоса 2 подается через входной патрубок, установленный тангенциально, на вход фильтра 1. Основная часть жидкости отфильтровывается и по линии очищенной жидкости 9 подается в емкость 8. 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 3, регулируется с помощью крана 6. Перепад давления на фильтре измеряется с помощью манометров 4 и 5. Сброс неочищенной жидкости регулируется с помощью крана 7.

Фильтроэлемент, состоящий из каркаса и намотанной на него подложки и фильтровальной сетки № 0071 с размером ячейки 71 мкм, имеет первоначальный диаметр $D_ф$=92 мм. Увеличение диаметра фильтроэлемента достигается путем наматывания проволоки на каркас, после чего сверху наматывается подложка и фильтровальная сетка. В этом случае диаметр фильтроэлемента будет равен $D_ф$=96 мм. В результате анализа закручивающих устройств [5], был принят улиточный завихритель с одним подводящим каналом. Завихритель выполнен прямоугольного поперечного сечения, с размером на входе 20 мм$\times$40 мм, плавно сужающийся до размера на входе в область фильтрования 5 мм$\times$40 мм. Диаметр выходного патрубка $d_{вых}$=20 мм, диаметр сливного патрубка $d_{сл}$=20 мм. Для уменьшения степени неравномерности потока при выходе из завихрителя принимаем расстояние от закручивающего устройства до начала фильтровальной сетки равным $l_1 = 0{,}26 \cdot D_ф$=25мм [5]. Внутренняя поверхность прозрачного корпуса фильтра имеет диаметр $D_{корп}$=102 мм. Таким образом, для экспериментального исследования представлены два варианта ширины кольцевого зазора области фильтрования: h=5 мм и h=3 мм. Согласно численным исследованиям [1] при ширине h=5 мм вероятны явления отрыва потока и появление зон обратных течений. При зазоре h=3 мм таких явлений не должно быть, что дает возможность реализации эффективной очистки жидкости от твердых частиц примесей.

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.

О сохранении интенсивной закрутки в конечных сечениях фильтроэлемента можно судить по поведению ниток, укрепленных на по-

верхности фильтроэлемента (рис. 4), которые после достаточно быстрого установления режима вели себя стабильно, без колебаний, а также по наличию воздушного столба (рис. 5) за фильтроэлементом в конусной части фильтра.

Рисунок 4 – Фильтроэлемент с укрепленными на нем нитками

Рисунок 5 – Воздушный столб в нижней части фильтра

Кроме того, при нерасчетных режимах работы разрабатываемого гидродинамического фильтра с закруткой потока, которые возникают, например, при увеличении закрутки потока свыше предельного расчетного значения, можно было наблюдать картину течения, далекую от ламинарного и безотрывного потока. На рисунке 5 явно наблюдаются обширные зоны турбулентности, о которых можно судить по наличию воздушных пузырей, а также неравномерность течения, о чем свидетельствует разнонаправленность ниток, укрепленных на поверхности фильтроэлемента.

Рисунок 6 – Нерасчетный режим работы фильтра

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 (рис. 7). При потенциально интересных режимах работы фильтра явление подсоса в зону фильтрования не наблюдалось, что подтверждает правомерность предположения о безотрывном обтекании фильтроэлемента.

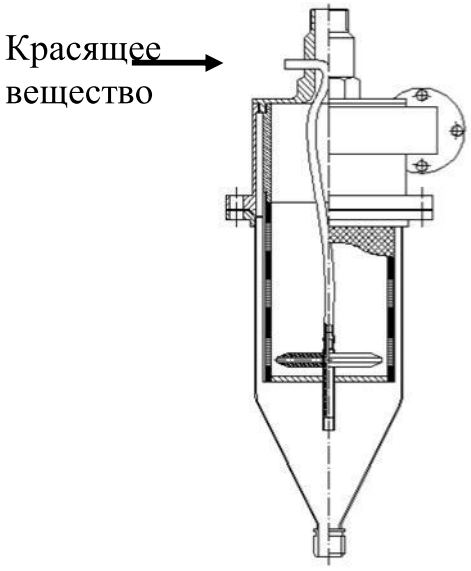

Рисунок 7 – Схема ввода краски к внутренним стенкам фильтроэлемента

Далее было исследовано изменение параметра закрутки потока в зависимости от продольной координаты.

На основании решения дифференциальных уравнений движения жидкости в кольцевом зазоре с проницаемым цилиндром, описанных в работе [2] можно определить изменение параметра закрутки $tg\varphi$ по длине области фильтрования.

Экспериментальные значения параметра закрутки $tg\varphi$ определялись по направлению ниток, укрепленных на поверхности фильтроэлемента.

В таблице 1 приведены значения углов наклона ниток в пяти сечениях фильтроэлемента. Для каждого сечения измерения проводились в пяти равноотстоящих точках по окружности фильтроэлемента.

Таблица 1 - Значения углов наклона ниток, укрепленных на поверхности фильтроэлемента

Номер сечения	Угол наклона в точке 1, град	Угол наклона в точке 2, град	Угол наклона в точке 3, град	Угол наклона в точке 4, град	Угол наклона в точке 5, град	Среднее значение угла наклона φ, град
1.	61	62	64	63	64	62,8
2.	64	67	64	65	65	65
3.	66	67	68	70	68	67,8
4.	67	68	71	72	71	69,8
5.	74	75	74	76	76	75

На рисунке 8 показана функция изменения параметра закрутки, который определятся по результатам расчетов [1] как отношение тангенциальной скорости к радиальной на расстоянии порядка десятков микрометров от проницаемой поверхности (кривая 1) при величине кольцевого зазора h=3 мм. На этом же рисунке кривая 2 обозначает экспериментальные значения угла закрутки $tg\varphi$, подсчитанные по значениям углов наклона ниток φ из таблицы 1 и интерполированная с помощью интерполяционной формулы Лагранжа [6].

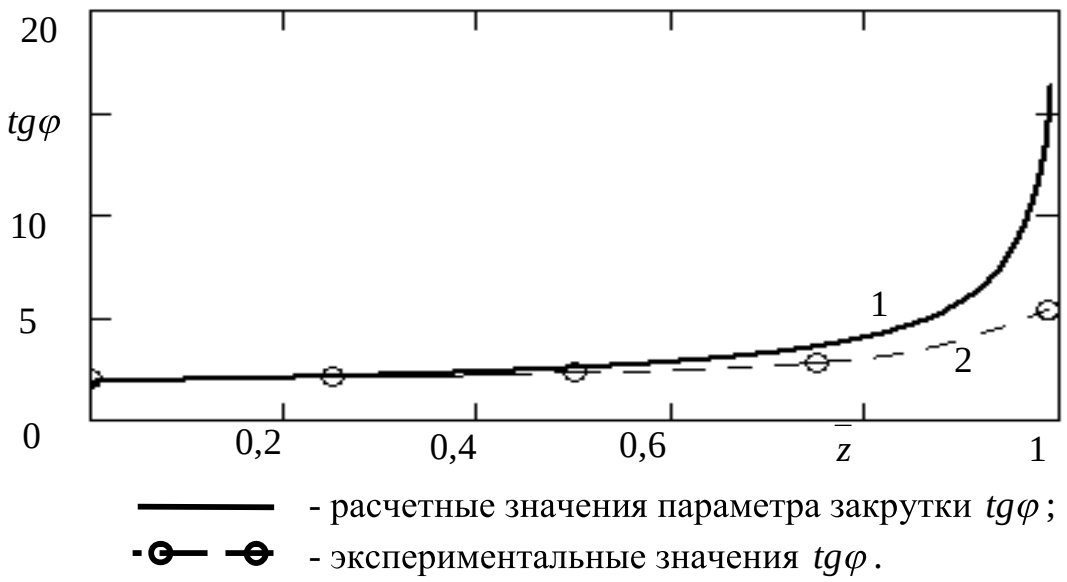

Рисунок 8 – Изменение параметра закрутки $tg\varphi$ по длине области фильтрования при h =3мм

Как видно на графике две кривые в большей части совпадают. Различие функций в конечных сечениях может быть вызвано упрощением математической модели течения, т.е. пренебрежением вторыми производными от осевой и тангенциальной скорости по продольной координате.

Характеристикой точности совпадения экспериментальной кривой с расчетной может выступать норма относительной невязки в области $z \in [0, l]$, определяемая по формуле:

$$\|\varepsilon\| = \left(\int_0^L \left| \frac{tg\varphi_э - tg\varphi_p}{tg\varphi_p} \right|^2 dz \right)^{\frac{1}{2}}, \qquad (1)$$

где $tg\varphi_p$ – расчетные значения параметра закрутки,

$tg\varphi_э$ – экспериментальные значения параметра закрутки,

L – длина области фильтрования.

В процентном отношении эта величина составила $\|\varepsilon\|$=8,3 %.

Таким образом, на основании проведенного исследования можно сделать вывод о том, что численное исследование течения в области фильтрования не противоречит реальному процессу движения закрученного потока в кольцевом зазоре с проницаемой поверхностью внутреннего цилиндра. Это дает возможность перейти к следующему этапу экспериментального исследования – определению тонкости очистки фильтром разрабатываемой конструкции.

Проведено экспериментальное исследование основных параметров закрученного потока жидкости в рабочей полости гидродинамического фильтра с закруткой потока.

The experimental research of key parameters of the swirled fluid stream in a working cavity of the hydrodynamic filter with a swirl stream is spent.

Библиографический список.

1. Бревнов А.А. Обоснование конструкции гидродинамического неполнопоточного фильтра с закруткой потока. Сборник научных трудов ДонГТУ. Алчевск, Вып. 25. – 2007, С.

2. 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.

3. 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.

4. Бревнов А.А. Исследование влияния закрутки потока на работу гидродинамического фильтра с неподвижным фильтроэлементом. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» «Технологія і техніка друкарства». Зб.наук. праць Вип. 4(14), Киев 2006, стр.64-72.

5. Халатов А.А. Теория и практика закрученных потоков. – Киев: Наук. думка, 1989. - 192с.

6. Г. Корн, Т. Корн. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). М., 1978 г., 832 с., ил.

Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Финкельштейном З.Л.