

С. И. Валеев, Д. Ю. Верин, В. А. Булкин

ГИДРОДИНАМИКА ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ГИДРОЦИКЛОНА ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ЭМУЛЬСИЙ С МАЛЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЛЕГКИХ ПРИМЕСЕЙ

Ключевые слова: гидроциклон, разделение.

В статье представлены экспериментальные исследования полей скоростей и давлений в цилиндрическом гидроциклоне для разделения эмульсий с малым содержанием легких примесей.

Keywords: hydrocyclone, separation.

The experimental investigations of pressure and velocity fields in the cylindrical hydrocyclone for separation of emulsions with small quantity of light pollutants are presented.

Повышенное внимание к гидроциклонам для разделения жидкостей эмульсионного типа возникло в связи с экологическими проблемами, так как практически все промышленные предприятия имеют сточные воды, содержащие нефтяные, масляные, жировые загрязнения [5, 7]. Гидроциклоны просты по конструкции, компактны, высокопроизводительны, дешевы в изготовлении [1÷4].

Все ранние проведенные исследования выполнены на стандартных формах гидроциклонов, которые имели большее выходное сечение верхнего сливного патрубка по отношению к нижнему шламовому патрубку и практически отсутствуют исследования гидродинамики гидроциклонов с малым расходом жидкости через верхний сливной патрубок. Технологические требования к гидроциклонам для разделения эмульсий с малым содержанием легких примесей (около 1 %), к которым относятся нефтесодержащие сточные воды промышленных предприятий, определяет отвод основного количества очищенной жидкости через нижний сливной патрубок, и лишь небольшую часть жидкости, обогащенную легкими примесями через верхнее сливное отверстие.

Исследуемый цилиндрический гидроциклон имел диаметр - 50 мм. Отвод жидкости осуществляется через верхний сливной патрубок и два диаметрально-противоположно расположенных выходных патрубка, размеры которых выбирались исходя из задания необходимого соотношения расходов через выходные патрубки. В процессе проведения экспериментов ставилась задача охватить не исследованную область с точки зрения распределения потоков по сливам и рассмотреть изменения гидродинамики потока при изменении соотношения между сливными патрубками.

Измерение полей скоростей и давлений гидроциклона проводилось зондовым методом [6].

На рис. 1 показаны зависимости распределения статического давления и тангенциальной скорости при отводе 5.03 % жидкости от общего потока через верхний сливной патрубок, общий расход жидкости при этом составлял 0.64 л/с.

Эксперименты проводились при диаметре двух тангенциально противоположных входных патрубков ($d_{вх}$) по 7.5 мм, диаметре нижнего слива ($d_{н.сл.}$)=11 мм, диаметре верхнего слива ($d_{в.сл.}$)=3 мм.

В процессе проведения экспериментов давление на входе в гидроциклон ($P_{вх}$) устанавливалось равным 0.105 Мпа, $V_{вх}=7.27$ м/с.

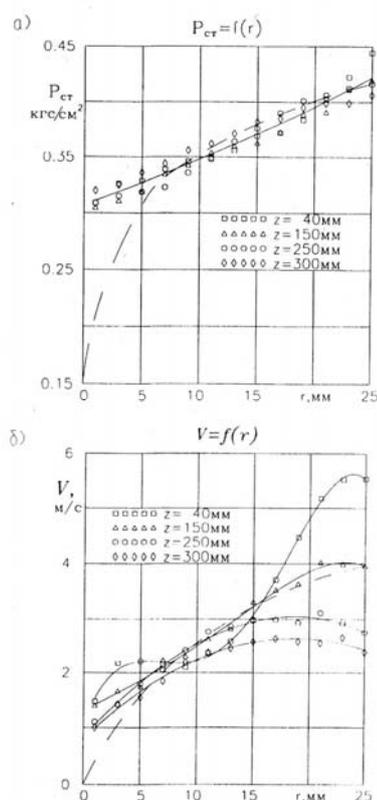


Рис. 1 - Распределения статического давления и тангенциальной скорости в цилиндрическом гидроциклоне (при отводе 5.03 % жидкости от общего потока через верхний сливной патрубок)

В цилиндрическом гидроциклоне статическое давление жидкости возрастает по радиусу плавно, и эта зависимость остается постоянной по высоте гидроциклона (рис. 1 а).

На рис. 2 приведены зависимости распределения статического давления и тангенциальной скорости при отводе 10.4 % жидкости от общего расхода через верхний сливной патрубок при суммарном расходе через сливные патрубки ($Q_{ж}$)=0.66 л/с. Данное соотношение расходов устанавливалось при диаметре нижнего слива ($d_{н.сл.}$)=11 мм, диаметре верхнего сливного патрубка ($d_{в.сл.}$)=5 мм. Давление

на входе в гидроциклон ($P_{вх}$) устанавливалось равным 0.12 Мпа, статическое давление в сечении входного патрубка $P_{вх}^0=0.05$ Мпа, скорость во входном патрубке гидроциклона $V_{вх}=7.48$ м/с.

Статическое давление возрастает от оси к стенке гидроциклона, и его величина остается постоянной на одинаковых радиусах по всей высоте аппарата (рис. 2 а).

На рис. 2 б приведено распределение тангенциальной скорости по радиусу и высоте аппарата. Закономерности, присущие для предыдущих условий сохраняются. Анализ опытных данных указывает, что профиль тангенциальной скорости потока в данном гидроциклоне можно рассматривать состоящим из трех областей: центральную, приосевую и пристенную. В приосевой зоне наблюдается увеличение значений тангенциальной скорости, причем для всех сечений эта зона практически одинакова. Однако, следует отметить, что увеличение значения тангенциальной скорости в приосевой зоне происходит и на большем удалении от входного патрубка, по сравнению с предыдущими исследованиями. В центральной зоне величина тангенциальной скорости остается постоянной по радиусу, следует отметить, что зона постоянной тангенциальной скорости увеличивается по мере удаления от верхнего сливного патрубка.

В пристенной зоне наблюдается увеличение тангенциальной скорости, особенно в верхней части аппарата, где еще сказывается условия ввода эмульсии.

Результаты экспериментального исследования показали, что в пространстве между сливным патрубком и корпусом аппарата происходит стабилизация тангенциальной скорости потока жидкости в некоторый постоянный профиль по высоте.

Исследование полей скоростей и давлений показали, что в цилиндрическом гидроциклоне [8] профиль тангенциальной составляющей скорости движения ближе к квазипотенциальному вращению, а в цилиндрическом гидроциклоне с малым расходом через верхний слив, данный профиль к квазитвердому вращению. Принимая во внимание критерий устойчивости турбулентного потока, предложенный Релеем и связанный со стремлением частиц к сохранению своего импульса, можно сказать, что наличие поля напряженности с отрицательным градиентом (квазитвердое вращение в цилиндрическом гидроциклоне), способствует сохранению указанной величины и, следовательно, будет способствовать устойчивости течения в радиальном направлении, т.е. наличие поля напряженности с отрицательным градиентом обеспечивает сохранение или даже рост момента импульса, что, в конечном счете, ведет к сохранению устойчивости потока в радиальном направлении и подавлению турбулентности [9, 10], Наличие же поля напряжений с положительным градиентом (квазипотенциальное вращение в цилиндрическом гидроциклоне) предопределяет возникновение отрицательного момента

импульса, а последнее приводит к снижению устойчивости закрученного потока, т.е. к развитию турбулентности.

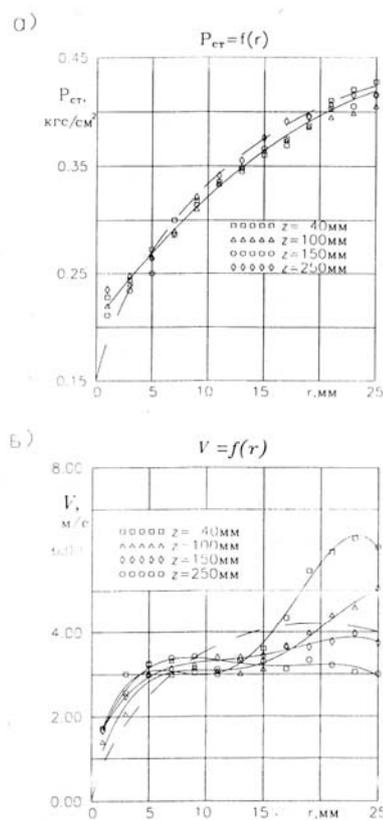


Рис. 2 - Распределения статического давления и тангенциальной скорости в цилиндрическом гидроциклоне (при отводе 10.4 % жидкости от общего потока через верхний сливной патрубок)

Литература

1. Терновский И.Г., Кутепов А.М. Гидроциклонирование. М.: Наука, 1994.
2. Поваров А.И. Гидроциклоны на обогатительных фабриках. М.: Недра. 1978. 232 с.
3. Найденко В.В. Применение гидроциклонов в технологических процессах очистки природных и сточных вод // Исследование и промышленное применение гидроциклонов. Горький. 1981. 180 с.
4. Мустафаев А.М., Гутман Б.М. Гидроциклоны в нефтедобывающей промышленности. М.:Недра, 1981, 260 с.
5. Валеев С.И. Очистка сточных вод в гидроциклонах систем оборотного водоснабжения: Дис.....канд. техн. наук. Казань, 2000.
6. Валеев С.И., Верин Д.Ю., Булкин В.А. Выбор метода измерения для исследования полей скоростей и давлений гидроциклона // Вестник Казан. технол. ун-та. 2013. Т.16, № 15, с. 292-294.
7. Валеев С.И., Булкин В.А. Применение гидроциклонов для очистки сточных вод в системе оборотного водоснабжения // Вестник Казан. технол. ун-та. 2013. Т.16, № 15, с. 294-296.
8. Верин Д.Ю., Валеев С.И., Булкин В.А. Гидродинамика цилиндрического гидроциклона для разделения эмульсий с учетом эффективной вязкости // Вестник Казан. технол. ун-та. 2013. Т.15, № 15, с. 117-119.
9. Булкин В.А. Разработка, методы расчёта и внедрение вихревых аппаратов с объемными факелами орошения для очистки газоздушных потоков: Автореф. дис. ...д-ра техн. наук. Казань, 1989.
10. Гринспен Х. Терия вращающихся жидкостей. Л. Гидрометеопредат. 1975. 304 с.

С. И. Валеев – к.т.н., доц. каф. машин и аппаратов химических производств КНИТУ, vsi73@mail.ru; **Д. Ю. Верин** – асп., инж. той же кафедры, dmitry-verin90@mail.ru; **В. А. Булкин** – д.т.н. проф. той же кафедры, bulkin_v_a@mail.ru.