

УДК 621.928.37

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗМЕРОВ ВОЗДУШНОГО СТОЛБА В ЦИЛИНДРОКОНИЧЕСКОМ ГИДРОЦИКЛОНЕ

Балахнин И.А.

ФГБОУ ВПО Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия (603950, ГСП-41, Н.Новгород, ул. Минина, 24), e-mail: bia2000@yandex.ru

Проведены экспериментальные исследования размеров воздушного столба в цилиндрическом гидроциклоне. Получены численные зависимости для расчета диаметра воздушного столба в различных сечениях аппарата. Исследования проводились на прозрачных цилиндрических гидроциклонах, изготовленных из оргстекла. Диаметры цилиндрических корпусов аппаратов составляли 75 и 80 мм. Использовались комплекты сменных деталей аппаратов. Эксперименты проводились при давлениях воды на входе в гидроциклоны от 0,025 до 0,3 МПа. Исследования основывались на методе видеосъемки воздушного столба внутри прозрачного гидроциклона при импульсном освещении с последующей компьютерной обработкой полученных видеокadres. Анализ видеокadres с изображением воздушного столба проводился в графическом редакторе. Экспериментальные данные позволили получить расчетные формулы не только внутри цилиндрического корпуса, но и в выходных отверстиях гидроциклона. Предложенные зависимости проверены в широких интервалах конструктивных и режимных параметров и показали хорошую степень точности.

Ключевые слова: воздушный столб, диаметр, гидроциклон.

THE STUDY OF THE DIMENSIONS OF AIR CORE IN CYLINDROCONICAL HYDROCYCLONE

Balakhnin I.A.

Nizhny Novgorod state technical university named R.E. Alekseeva, Nizhny Novgorod, Russia, (603950, GSP-41, N.Novgorod, Minin street, 24), e-mail: bia2000@yandex.ru

Experimental studies of the dimensions of air core in a cylindrical hydrocyclone were performed. Numerical dependences for calculation of the diameter of an air core in the various sections of the apparatus were derived. Studies were conducted on transparent cylindrical hydrocyclones, made of plexiglas. The diameters of the cylindrical housings of the devices was 75 and 80 mm. Sets of replaceable parts of the apparatus was used. The experiments were carried out at pressures of water at the entrance to the hydrocyclones from 0.025 to 0.3 MPa. The research was based on the method of recording a video of an air core inside the transparent hydrocyclone under pulsed illumination and subsequent computer processing of the received frames. Analysis of frames with a picture of an air core was carried out in a graphics editor. The experimental data allowed us to obtain formulas not only within the cylindrical housing, but also in the discharge outlet of the hydrocyclone. The dependencies are checked at a wide range of constructive and regime parameters and showed a good degree of accuracy.

Keywords: air core, diameter, hydrocyclone.

Известно, что при вращении жидкости в аппаратах центробежного типа (гидроциклонах, вихревых камерах и т.п.) вдоль оси вращения образуется зона пониженного давления [2]. Это объясняется высокими значениями центробежных сил, направленных от оси аппарата к периферии. Благодаря высоким окружным скоростям и малым радиусам закрутки, происходит разрыв сплошности потока. В эту область в случае выгрузки выходящих потоков в атмосферу подсасывается воздух, и внутри аппарата образуется быстро вращающийся воздушный столб [2]. Геометрическая форма и размеры воздушного столба оказывают значительное влияние на эффективность работы гидроциклона, поскольку тесным образом

связаны с его гидравлическим сопротивлением, расходными характеристиками и дисперсным составом твердой фазы суспензии в выходящих потоках [3,4].

В основу наших экспериментальных исследований положен метод видеосъемки воздушного столба внутри прозрачного гидроциклона при импульсном освещении щелевым источником света. Съемка осуществлялась по всей высоте аппарата, в том числе и в сечениях выходных отверстий.

Использовались цилиндроконические гидроциклонные аппараты с диаметром цилиндрической части D равным 75 и 80 мм. Аппараты изготавливались из прозрачного оргстекла. При изготовлении аппараты комплектовались наборами сменных деталей, позволяющих в широких интервалах менять геометрические характеристики аппаратов. В ходе экспериментов изменяли диаметры входного, верхнего и нижнего отверстий соответственно в интервалах $(0,16 \div 0,25)D$, $(0,16 \div 0,32)D$ и $(0,064 \div 0,267)D$, угол конуса – от 8° до 30° , длину цилиндрической части корпуса от 1 до $3D$. Эксперименты проводились при давлениях воды на входе в гидроциклоны от 0,025 до 0,3 МПа и выгрузке выходящих потоков в атмосферу (без противодействия).

Для получения качественных видеок кадров использовался стробоскоп с подстраиваемой частотой вспышек. Применялась схема съемки продольных сечений гидроциклона (рисунок 1). Одни из первых опытов снимались на аналоговую видеокамеру с последующей оцифровкой сигнала с помощью компьютерной платы видеозахвата. В итоговых экспериментах съемка происходила на цифровую камеру с разрешением кадров full HD.

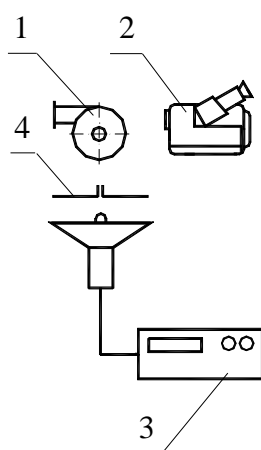


Рис. 1. Схема видеосъемки

1- гидроциклон; 2 - видеокамера; 3 - стробоскоп; 4 - насадка щелевая

Образцы кадров воздушного столба в различных сечениях гидроциклона представлены на рисунке 2.

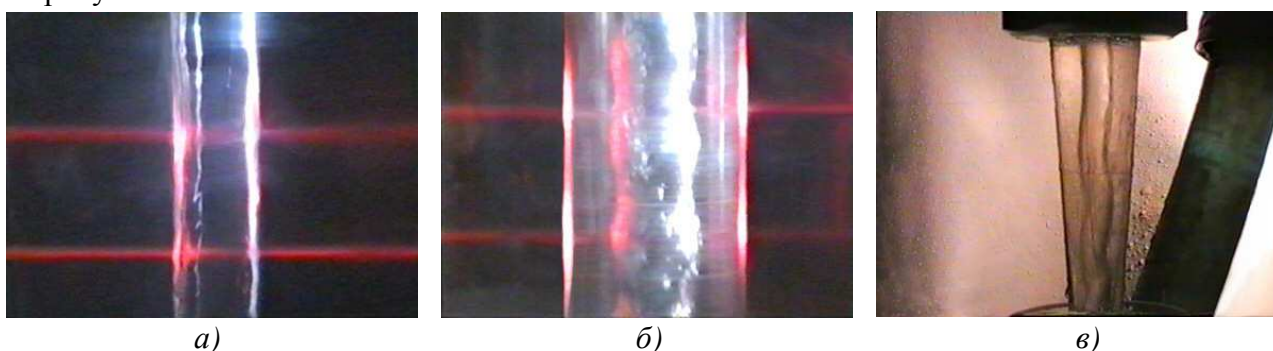


Рис. 2. Изображения воздушного столба:

a - в цилиндрической части корпуса; *б* - в верхней патрубке; *в* - в нижней патрубке

С целью определения масштаба изображения видеокамера, находящаяся на постоянном расстоянии от оси гидроциклона, фокусировалась на геометрическом шаблоне, который помещался перед съемками в плоскость, проходящую через ось аппарата и перпендикулярную объективу камеры.

Анализ полученных видеокadres и определение диаметра воздушного столба проводился в инженерном графическом редакторе (рисунок 3). Диаметр воздушного столба определялся как среднее арифметическое по результатам 20-30 замеров в каждом сечении столба по высоте аппарата. С учетом размеров пикселей видеокadres и масштаба изображения точность определения размера столба составляла 0,06 мм.

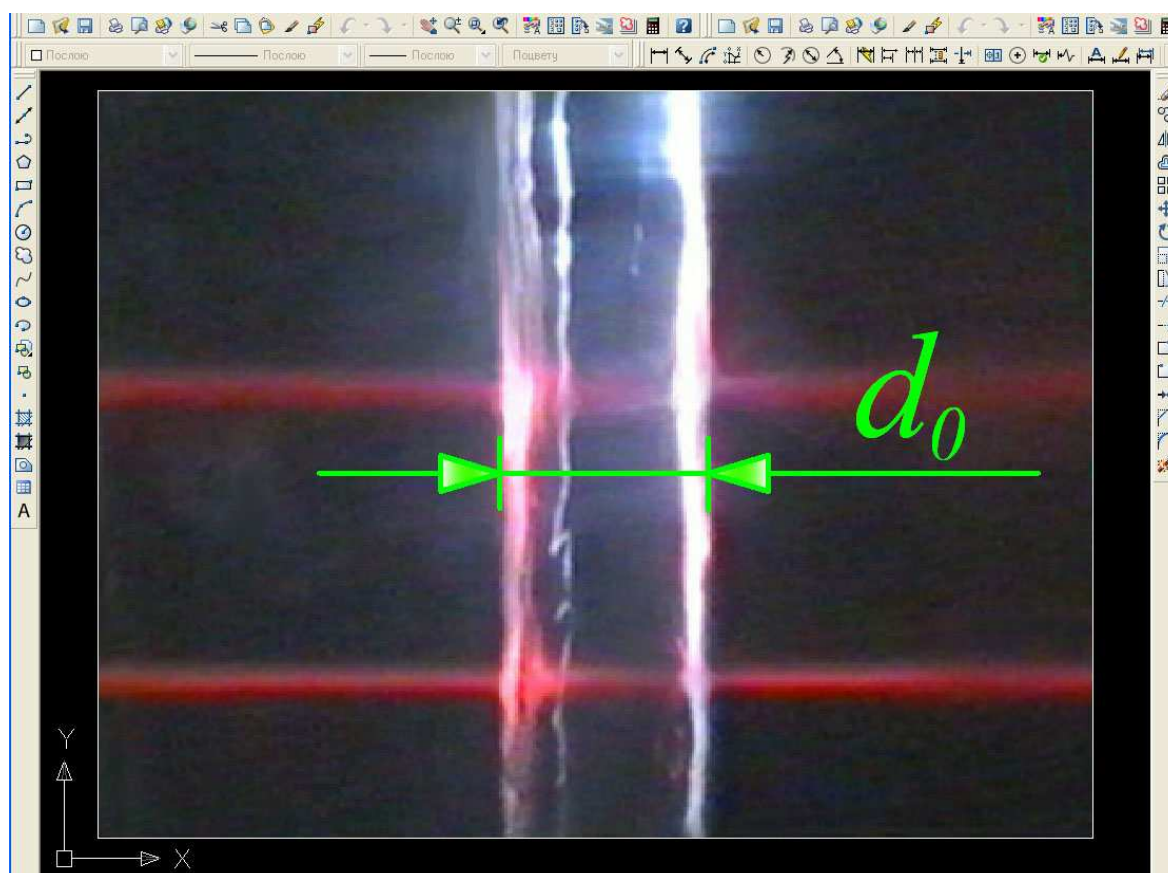


Рис. 3. Измерение диаметра воздушного столба в графическом редакторе

Проведенное исследование выявило существенное отличие диаметра и формы воздушного столба в цилиндрической части аппарата от диаметра и формы в верхнем выходном отверстии. В нижнем выходном отверстии меняется форма столба. Если внутри цилиндрического корпуса аппарата форма столба максимально приближена к цилиндру (рисунок 2а), то, приближаясь к нижнему выходному отверстию, столб из прямого становится спирально изогнутым (рисунок 2в). Шаг спирали уменьшается к выходу.

Необходимо отметить увеличение диаметра воздушного столба в сливном патрубке по сравнению с диаметром столба в корпусе гидроциклона, наблюдаемое для всех конструктивных соотношений аппарата и во всем диапазоне давлений воды на входе в аппарат (рисунок 4). Изменение формы воздушного столба происходит плавно по квазитангенсоидному закону.



Рис. 4. Увеличение диаметра воздушного столба при входе в верхний выходной патрубок

Увеличение диаметра воздушного столба в верхнем патрубке говорит о значительном падении давления жидкости в этой области по сравнению с давлением в корпусе аппарата. Согласно уравнению Бернулли подобный факт объясняется увеличением скорости движения жидкости. Форма же поверхности столба внутри верхнего выходного патрубка практически становится синусоидально волнистой (рисунок 2б). Особенно отчетливо квазисинусоидальные стоячие волны на поверхности воздушного столба были заметны в сливном патрубке при малых разгрузочных отверстиях.

Зависимость диаметра столба от разгрузочного отношения отверстий носит степенной характер и плавно возрастает при увеличении этого отношения. Однако, если разгрузочное отношение равно нулю, т.е. нижнее отверстие закрыто, столб все равно существует, что говорит о подсосывании воздуха из верхней сливной линии. Увеличение нижнего отверстия с нуля до определенного значения практически не сказывается на изменении размеров столба.

Длина верхнего выходного (сливного) патрубка во всех опытах оставалась неизменной, поскольку глубина погружения сливного патрубка практически не сказывается на диаметре воздушного столба, по крайней мере, в исследованном диапазоне $l_{сл}=(0,5\div 1,5)D$. Принималось во внимание также то, что ни одна из известных формул по определению диаметра столба не содержит в себе $l_{сл}$.

Точное определение размеров воздушного столба позволяет создать надежную модель расчета гидроциклонных аппаратов. Известные формулы других исследователей для расчета диаметра воздушного столба, как правило, ограничивались размером d_0 внутри цилиндрического корпуса аппарата, считая его постоянным по высоте аппарата. Тем не менее, как показали проведенные исследования, по мере приближения к нижнему выходному отверстию существенно изменяется форма столба, а при приближении к верхнему выходному отверстию существенно меняется как форма, так и диаметр столба.

В результате исследования получены формулы для расчета диаметра воздушного столба внутри цилиндрического гидроциклона и в верхнем сливном патрубке:

$$d_0 = 0,3d_{сл} \frac{1+0,5\Delta^2}{1+2,2\Lambda^{0,8}} Re^{0,1}, \quad (1)$$

$$d_{0сл} = 0,3d_{сл} \frac{1+0,25\Delta^2}{1+1,4\Lambda^{0,9}} Re^{0,1}, \quad (2)$$

где $d_{сл}$ – диаметр верхнего сливного отверстия, Δ – разгрузочное отношение (отношение диаметров верхнего и нижнего выходных отверстий), Λ – параметр закрутки потока, Re – число Рейнольдса.

Параметр закрутки потока для цилиндрических гидроциклонов с тангенциальным входом и круглым входным отверстием:

$$\Lambda = 0,129 \frac{d_{вх}^2}{d_{сл}(D-d_{вх})} \left(\frac{d_{вх}}{D}\right)^{-1,58} \left(\frac{L_{ц}}{D}\right)^{0,32} (tg 2\alpha)^{-0,2}, \quad (3)$$

где $d_{вх}$ – диаметр входного отверстия, $L_{ц}$ – длина цилиндрического корпуса гидроциклона, $tg 2\alpha$ – тангенс угла конического корпуса гидроциклона.

Полученные формулы имеют хорошее совпадение с нашими экспериментальными данными и данными других исследователей.

Полученные результаты в дальнейшем будут использованы при создании модели сепарации критически длинных волокон и создании методики расчета процесса разделения суспензий как в единичных и батарейных гидроциклонах, так и при моделировании комплексных многоступенчатых гидроциклонных установок [5].

Список литературы

1. Терновский И. Г., Кутепов А. М. Гидроциклонирование. – М.: Наука, 1994. – 350 с.
2. Иванов А.А., Балахнин И.А., Пронин А.И., Кудрявцев Н.А., Диков В.А., Суханов Д.Е., Баранов Д.А., Лагуткин М.Г., Кутепов А.М. Переходные режимы и кризисные явления в гидроциклонах // Теоретические основы химической технологии. – 2007. – Т. 41. – № 6. – С. 681-691.
3. Пронин А.И., Диков В.А., Балахнин И.А., Баранов Д.А., Лагуткин М.Г., Хакимов М.Ф., Яруллин Р.Н. Опыт и возможности применения гидроциклонов для разделения волокнистых суспензий // Вода: химия и экология. – 2008. – № 5. – С. 10-17.
4. Баранов Д.А., Пронин А.И., Диков В.А., Иванов А.А., Колесова Н.А., Балахнин И.А., Лагуткин М.Г. Гидроциклоны для химических производств и установок очистки оборотных и сточных вод // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2007. – № 7. – С. 20-22.
5. Балахнин И.А. Моделирование многоступенчатых гидроциклонных установок в производстве картофельного крахмала. – 2013. – № 6. URL: <http://www.science-education.ru/113-11171> (дата обращения: 18.12.2013).

Рецензенты:

Ефремов Г.И., д.т.н., профессор кафедры ПТМКХМ ФГБОУ ВПО МГМУ(МАМИ), г. Москва.

Ким П.П., д.т.н., профессор кафедры ПАХПТ ФГБОУ ВПО НГТУ, г.Дзержинск.