

## РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОЙ ВЯЗКОСТИ В ГИДРОЦИКЛОНЕ

*Савчук В.А., Валеев С.И.*

*Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
г.Казань*

**Ключевые слова:** гидродинамика, разделение, эффективная вязкость, гидроциклон.

**Аннотация.** На основе уравнения Навье-Стокса проведено численное исследование эффективной вязкости в цилиндроконическом гидроциклоне. Установлено, что эффективная вязкость неравномерно распределена по высоте аппарата, что отрицательно сказывается на разделении эмульсий.

## CALCULATION OF EFFECTIVE VISCOSITY IN THE HYDROCYCLONE

*Savchuk V.A., Valeev S.I.*

*Kazan National Research Technological University, Kazan*

**Keywords:** hydrodynamics, separation, effective viscosity, hydrocyclone.

**Abstract.** On the basis of the Navier-Stokes equation the numerical investigation of the effective viscosity in cylinder-conic hydrocyclone is studied. It was found that the effective viscosity is not uniformly distributed over the height of the apparatus.

Гидроциклоны по сравнению с другими видами сепарационного оборудования надежны в эксплуатации, дешевы в изготовлении, компактны, можно регулировать их в процессе эксплуатации, могут располагаться в непосредственной близости от основных технологических участков [1,2,5,6,9,10]. В условиях высоких температур и давлений гидроциклоны незаменимы, так как не имеют подвижных частей и уплотнений. Техническое обслуживание гидроциклонов не требует сложного оборудования и квалифицированного персонала.

Гидроциклоны широко используются для процессов разделения как неоднородных дисперсных систем типа жидкость-твердое тело, так и при разделении систем с нестабильным составом дисперсной фазы, таких как жидкость-жидкость [1,2,9,10]. Для разделения двух несмешивающихся жидкостей наибольшее применение нашли цилиндроконические гидроциклоны.

Как уже отмечалось гидроциклоны работают в развитом турбулентном режиме, характеризующимся интенсивными турбулентными пульсациями [1,4,7]. Турбулентность является одним из основных факторов, которые определяют протекание разделительных процессов в гидроциклонах, так как частицы эмульсии (суспензии) в той или иной степени следуют турбулентным перемещениям жидкостных потоков. Большинство авторов указывают на значительное влияние турбулентности на процесс разделения, но окончательные выводы делать преждевременно, так как экспериментальные и теоретические исследования о характере турбулентности в различных зонах гидроциклона практически отсутствуют.

При аналитическом подходе к описанию гидродинамики гидроциклонов большинство исследователей исходят из системы уравнений Навье-Стокса, дополненных уравнением неразрывности [1,2,4,7,8]. Математическая модель процесса сепарации в гидроциклоне может быть приближена к реальным условиям путем введением в уравнения Навье-Стокса эффективной вязкости  $\nu_{\text{Э}} = \nu + \nu_T$ , тем более эффективная вязкость  $\nu_{\text{Э}}$  оказывает существенное влияние на распределение полей скоростей по сечению аппарата [1,4,7]. Исследование влияния эффективной вязкости  $\nu_{\text{Э}}$  на разделение жидкостей эмульсионного типа практически не проводилось.

Расчет основной составляющей эффективной вязкости  $\nu_{\text{Э}}$  – коэффициента турбулентной вязкости  $\nu_T$  проводился по уравнению:

$$\nu_T = c^2 r^2 \left| \frac{\partial V_{\phi}}{\partial r} - \frac{V_{\phi}}{r} \right|,$$

где  $c^2$  – структурная постоянная;  $r$  – текущий радиус;  $V_{\phi}$  – тангенциальная составляющая скорости потока жидкости, численные значения которой взяты из экспериментальных исследований [3,7,8].

Структурная постоянная потока  $c^2$  принималась исходя из анализа и обобщения теоретических и экспериментальных данных [1,4,7]

Анализ полученных результатов показывает, что численные значения эффективной вязкости по радиусу и высоте в цилиндроконическом гидроциклоне не остаются постоянными. В цилиндрической части ( $z=40$  мм) наблюдается тенденция к возрастанию значений эффективной вязкости  $\nu_{\text{Э}}$  по направлению от оси аппарата к стенке. Сечения  $z=160$  мм,  $z=370$  мм находятся в конической части гидроциклона. В сечении  $z=160$  мм эффективная вязкость возрастает от оси к стенке гидроциклона, но зависимость  $\nu_{\text{Э}}$  от радиуса уже не линейна.

Профиль эффективной вязкости  $\nu_{\text{Э}}$  в сечении  $z=370$  мм можно рассматривать состоящим из двух областей. Значения  $\nu_{\text{Э}}$  увеличивается по мере приближения к стенке гидроциклона, затем при некотором радиусе достигает максимального значения и начинает убывать. Профиль эффективной вязкости в этом сечении аналогичен профилю распределения тангенциальной составляющей скорости потока в этом же гидроциклоне [3,7]. Необходимо отметить, что значения эффективной вязкости в цилиндрической части гидроциклона выше, чем в конической.

Результаты численных исследований эффективной вязкости  $\nu_{\text{Э}}$  в цилиндроконическом гидроциклоне показали, что эффективная вязкость крайне неравномерно распределена по высоте аппарата, что отрицательно сказывается на разделении эмульсий.

#### Список литературы

1. Терновский И.Г. Гидроциклонирование / И.Г. Терновский, А.М. Кутепов. – М.: Наука, 1994. – 350 с.
2. Мустафаев А.М. Гидроциклоны в нефтедобывающей промышленности / А.М. Мустафаев, Б.М. Гутман. – М.:Недра, 1981. – 260 с.

3. Валеев С.И. Гидродинамика цилиндрических и цилиндроконических гидроциклонов с малым расходом через верхний слив / С.И. Валеев, Н.И. Степанов, Н.В. Иванов, В.А. Булкин // Вестник Казанского технологического университета. 1998. № 2. С.56-59.
4. Валеев С.И. Расчет эффективной вязкости в цилиндрическом гидроциклоне для разделения эмульсий / С.И. Валеев, Д.Ю. Верин, В.А. Булкин // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т.17, № 22. С.266-267.
5. Валеев С.И. Решение экологических проблем в системе оборотного водоснабжения с использованием гидроциклонов / С.И. Валеев, В.А. Булкин // Современное состояние и перспективы инновационного развития нефтехимии. Материалы IX международной научно-практической конференции. Нижнекамск, 2016. С. 217.
6. Валеев С.И. Технология очистки сточных вод систем оборотного водоснабжения / С.И. Валеев, В.А. Савчук // Современные проблемы теории машин. 2019. №.7. С.55-57.
7. Верин Д.Ю. Гидродинамика цилиндроконического гидроциклона для разделения эмульсий с учетом эффективной / Д.Ю. Верин и др. // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т.15, №15. С.117-118.
8. Гарифуллина Э.Р. Компьютерная система для определения гидродинамических показателей в цилиндроконическом гидроциклоне / Э.Р. Гарифуллина, С.И. Валеев // Интенсификация тепло-массообменных процессов, промышленная безопасность и экология. Пятая Всероссийская студенческая научно-техническая конференция. Казань: КНИТУ, 2018. С.192-195.
9. Лесин А.В. Перспективы развития разделения суспензий и эмульсий в гидроциклонах / А.В. Лесин, С.И. Валеев, В.А. Булкин // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т.18, № 10. С. 55-57.
10. Пластинкин Н.В. Перспективы применения гидроциклонов для очистки сточных вод / Н.В. Пластинкин, С.И. Валеев // Интенсификация тепло-массообменных процессов, промышленная безопасность и экология. Пятая Всероссийская студенческая научно-техническая конференция. Казань: КНИТУ, 2018. – С.195-196.

#### Сведения об авторах:

*Савчук Владимир Александрович* – магистр, КНИТУ, г.Казань;

*Валеев Сергей Ильдусович* – к.т.н., доцент, КНИТУ, г.Казань.