

Материалы XII Международной научной конференции  
**«ОБЩЕСТВО: НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ  
 ПОТЕНЦИАЛ РАЗВИТИЯ (идеи, ресурсы, решения)»**  
 (г. Чебоксары, Россия, 10 ноября 2020 г.)

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ГИДРОЦИКЛОНЕ

**ВАЛЕЕВ Сергей Ильдусович**

кандидат технических наук, доцент

**САВЧУК Владимир Александрович**

студент магистратуры

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
 г. Казань, Россия

*Проведено исследование эффективной вязкости в цилиндрическом гидроциклоне для разделения эмульсий с малым содержанием легких примесей. Установлено, что эффективная вязкость в цилиндрическом гидроциклоне возрастает с увеличением разгрузочного соотношения.*

**Ключевые слова:** гидроциклон, закрутка, турбулентность, давление, разгрузочное отношение.

**З**акрутка потока широко используется для интенсификации рабочих процессов машин и аппаратов в различных отраслях промышленности. С помощью закрученных потоков интенсифицируют процессы разделения гетерогенных систем эмульсионного типа. В настоящее время это разделение производят в резервуарах-отстойниках большого объема. В отстойниках работающим фактором является сила тяжести, обусловленная разностью в плотностях разделяемых фаз. Как показывают многочисленные исследования использовать эту разницу в плотностях целесообразней в центробежном поле, где величина фактора разделения на несколько порядков выше, чем в поле гравитации. Наиболее простыми по конструкции и дешевыми аппаратами, использующие действие центробежной силы, являются напорные гидроциклоны [1; 3; 5; 10; 11]. Они компакт-

ны, обладают высокой производительностью и несложные в эксплуатации.

Гидроциклоны работают в развитом турбулентном режиме, характеризующемся интенсивными турбулентными пульсациями. При описании гидродинамики гидроциклонов исходят из системы уравнений Навье-Стокса дополненных уравнением неразрывности. Математическая модель процесса разделения в гидроциклоне может быть приближена к реальным условиям введением в уравнения Навье-Стокса эффективной вязкости  $\nu_{\text{э}} = \nu + \nu_{\text{т}}$  [3; 8; 9].

Расчет эффективной вязкости  $\nu_{\text{э}}$  проводился для цилиндрического гидроциклона, имеющего основные геометрические размеры:

$D = 50 \text{ мм}$ ,  $\frac{d_{\text{в.сл.}}}{d_{\text{н.сл.}}} = \frac{3}{11} = 0.27$ , через верхний

слив отводилось 5.03 % от общего расхода.

Соотношение  $\frac{d_{в.сл.}}{d_{н.сл.}}$  выбиралось исходя

из требований к конструкции гидроциклона предназначенного для разделения эмульсий с самым содержанием легких примесей (около 1%), к которым относятся нефтесодержащие сточные воды промышленных предприятий [2; 4; 6; 7; 11].

Расчет основной составляющей эффективной вязкости  $\nu_{\text{э}}$  – коэффициента турбулентной вязкости  $\nu_m$  проводился по известному уравнению с использованием ранее полученных данных [2; 4; 6; 7; 9].

Полученные профили эффективной вязкости  $\nu_{\text{э}}$  по радиусу и высоте в цилиндриче-

ском гидроциклоне показаны на рисунок 1а. На графике показаны только осредненные значения полученных величин. Из анализа полученных результатов по распределению эффективной вязкости  $\nu_{\text{э}}$  (рисунок 1) можно выделить три зоны изменения  $\nu_{\text{э}}$  по радиусу гидроциклона: приосевую, центральную и пристенную. В центральной зоне значения  $\nu_{\text{э}}$  практически остаются постоянными. В пристенной зоне величина  $\nu_{\text{э}}$  резко возрастает достигая максимального значения около стенки аппарата. Возрастание численных значений  $\nu_{\text{э}}$  непосредственно в приосевой зоне по радиусу от центра к периферии обусловлено влиянием воздушного столба [1; 2; 5; 6].

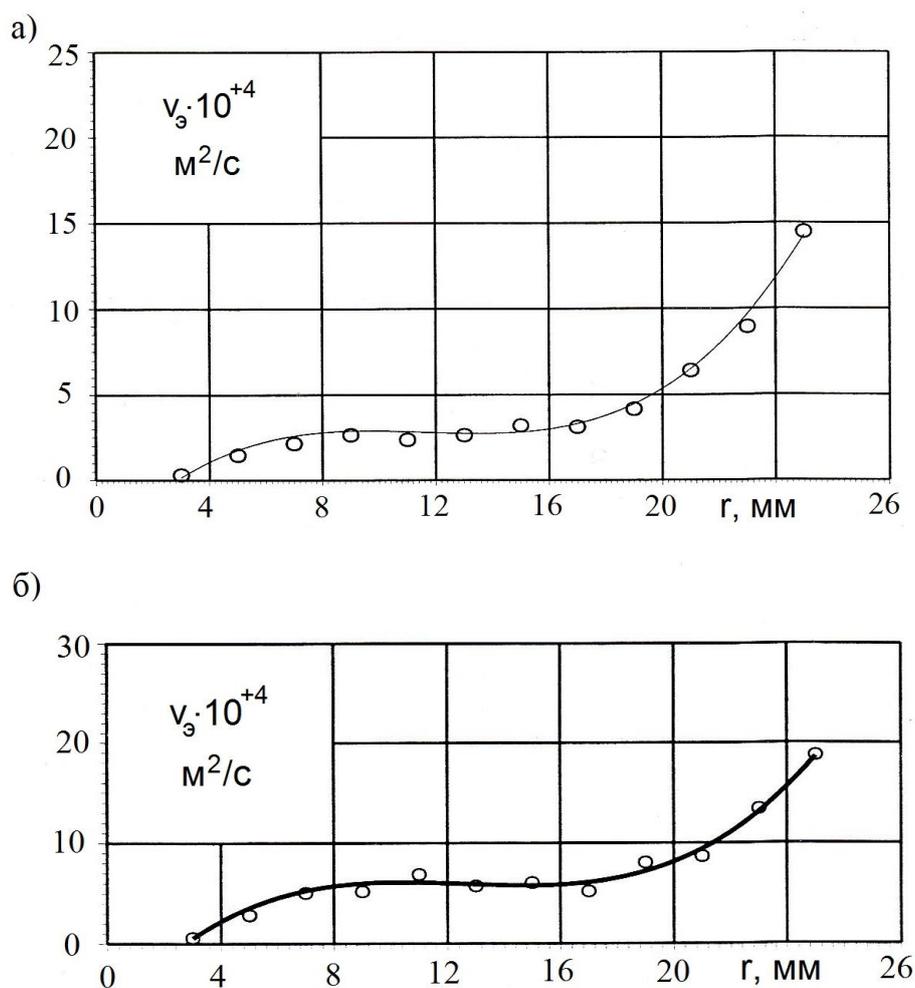


Рисунок 1. Распределение эффективной вязкости в цилиндрическом гидроциклоне

На рисунке 16 представлены графики эффективной вязкости  $V_{\text{э}}$  в цилиндрическом

гидроциклоне  $D = 50$  мм,  $\frac{d_{\text{в.сл.}}}{d_{\text{н.сл.}}} = \frac{5}{11} = 0.45$ ,

через верхний слив отводилось 10.4 % от общего расхода.

Полученные результаты показали, что в объеме данного цилиндрического гидроциклона, так же как и описанного выше

( $\frac{d_{\text{в.сл.}}}{d_{\text{н.сл.}}} = \frac{3}{11} = 0.27$ ) имеется три явно выраженные

зоны изменения эффективной вязкости  $V_{\text{э}}$  по радиусу гидроциклона. В центральной

зоне значения  $V_{\text{э}}$ , как и в предыдущем гидроциклоне практически постоянны, но значительно выше, что связано с увеличением расхода через верхний сливной патрубок.

В пристенной зоне происходит возрастание

$V_{\text{э}}$ , в этой зоне мы имеем распределение эффективной вязкости  $V_{\text{э}}$  во вращающемся нисходящем потоке, в котором в основном происходит разделение фаз. Третья характерная зона находится во внутреннем восходящем потоке.

Из полученных результатов видно, что в объеме цилиндрического гидроциклона происходит стабилизация эффективной вязкости  $V_{\text{э}}$  в некоторый постоянный профиль по высоте аппарата. Разгрузочное отношение

$\frac{d_{\text{в.сл.}}}{d_{\text{н.сл.}}}$  при прочих постоянных геометрических размерах оказывает сильное влияние на величину эффективной вязкости  $V_{\text{э}}$ . Как

видно с увеличением разгрузочного соотношения эффективная вязкость  $V_{\text{э}}$  возрастает в гидроциклоне, что отрицательно сказывается на процессе разделения эмульсий.

Как видно с увеличением разгрузочного соотношения эффективная вязкость  $V_{\text{э}}$  возрастает в гидроциклоне, что отрицательно сказывается на процессе разделения эмульсий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов Д.А. Принципы расчета и конструирования гидроциклонов для разделения эмульсий: автореф. дис. ... докт. техн. наук. – М., 1996. – 34 с.
2. Валеев С.И. Гидродинамика цилиндрических и цилиндрических 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.
3. Валеев С.И. Очистка сточных вод в гидроциклонах систем оборотного водоснабжения: дис. ... канд. техн. наук. – Казань, 2000. – 156 с.
4. Валеев С.И. Экспериментальное определение гидродинамики цилиндрического гидроциклона для разделения эмульсий / С.И. Валеев, Д.Ю. Верин, В.А. Булкин // В сборнике: Будущее науки-2014 Сборник научных статей 2-й Международной молодежной научной конференции: в 3-х томах. – Курск, 2014, Т.1. – С. 52-56.
5. Валеев С.И. Выбор метода измерения для исследования полей скоростей и давления гидроциклона / С.И. Валеев, Д.Ю. Верин, В.А. Булкин // Вестник Казанского технологического университета. – 2013, Т. 16. – № 15. – С. 292-293.
6. Валеев С.И. Гидродинамика цилиндрического гидроциклона для разделения эмульсий с малым содержанием легких примесей / С.И. Валеев, Д.Ю. Верин, В.А. Булкин // Вестник Казанского технологического университета. – 2014, Т. 17. – № 6. – С. 142-143.
7. Валеев С.И. Гидродинамика цилиндрического гидроциклона с удлиненным верхним сливным патрубком / С.И. Валеев, В.А. Булкин // Вестник Технологического университета. – 2015. – Т. 18. – № 20. – С. 231-232.
8. Верин Д.Ю. Гидродинамика цилиндрического гидроциклона для разделения эмульсий с учетом эффективной вязкости / Д.Ю. Верин, С.И. Валеев, В.А. Булкин // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – № 15. – С. 117-118.
9. Терновский И.Г. Гидроциклонирование / И.Г. Терновский, А.М. Кутепов. – М.: Наука, 1994. – 350 с.

10. Хамизуллин Ф.Ф. Применение гидроциклонов в химической и нефтехимической промышленности / Ф.Ф. Хамизуллин, С.И. Валеев // В сб. Интенсификация тепло-массообменных процессов, промышленная безопасность и экология. Пятая Всероссийская студенческая научно-техническая конференция. – Казань: КНИТУ, 2018. – С. 212-215.

11. Valeev S.I. Research of equipment for cleaning oil-containing waste-water / Journal of physics: Conference Series, 1399(2019)044021.

## NUMERICAL SIMULATION OF HYDRODYNAMIC PROCESSES IN A HYDROCYCLONE

**VALEEV Sergey Idusovich**

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

**SAVCHUK Vladimir Alexandrovich**

graduate student

Kazan National Research Technological University

Kazan, Russia

---

*The study of the effective viscosity in a cylindrical hydrocyclone for the separation of emulsions with a low content of light impurities has been carried out. It was found that the effective viscosity in a cylindrical hydrocyclone increases with an increase in the unloading ratio.*

**Key words:** hydrocyclone, swirl, turbulence, pressure, unloading ratio.

---

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНТРАФАКТНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

**СЕНИЛОВ Михаил Андреевич**

доктор технических наук, профессор

**ЗУБАРЕВ Владислав Анатольевич**

студент

ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова»

г. Ижевск, Россия

---

*Рассматриваются вопросы автоматизации обнаружения контрафактных элементов в электронной компонентной базе (ЭКБ). Для решения данной задачи предлагается использовать технологии машинного обучения и анализа данных, методы бинаризации и распознавания изображений, нейронные сети. Проведен сравнительный анализ известных OCR-систем (optical character recognition – оптическое распознавание символов) и нейронных сетей с целью обоснованного выбора инструментальных средств и их применения в предлагаемой методике. Практическое применение предлагаемого подхода в составе разрабатываемого приложения для обнаружения контрафакта позволит увеличить как точность, так и производительность приложения, обеспечив его работу в реальном времени.*

**Ключевые слова:** контрафактные электронные компоненты, электронная компонентная база, нейронные сети, бинаризация, распознавание изображений.

---