

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ СУСПЕНЗИИ В ГИДРОЦИКЛОНЕ

Колобов М.Ю., Ялышев Ф.Н., Кокурина Г.Н.

Колобов Михаил Юрьевич, Ялышев Фаиль Наилевич, Кокурина Галина Николаевна  
Ивановский государственный химико-технологический университет,  
г. Иваново, Россия. 153000, Ивановская область, г. Иваново, пр. Шереметевский, д. 7.  
E-mail: mikhailkolobov@rambler.ru, yalyshev.fail@yandex.ru, galnikkok\_79@mail.ru

*Для изучения влияния конструктивных факторов гидроциклона на процесс разделения фаз разработана экспериментальная установка. Получена математическая модель (уравнение регрессии) эффективности очистки суспензии от исследуемых параметров. Максимальная степень очистки была получена при диаметре отверстия в насадке 4 мм. С увеличением диаметра отверстия в насадке степень очистки уменьшалась.*

**Ключевые слова:** гидроциклон, эффективность очистки, нижняя насадка

## THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON THE EFFICIENCY OF SUSPENSION EXTRACTION IN A HYDROCYCLONE

Kolobov M.Yu., Yalyshev F.N., Kokurina G.N.

Ivanovo State University of Chemical Technology,  
Ivanovo, Russia. 153000, Ivanovo region, Ivanovo, Sheremetevsky ave., 7.  
E-mail: mikhailkolobov@rambler.ru, yalyshev.fail@yandex.ru, galnikkok\_79@mail.ru

*An experimental setup was developed to study the influence of hydrocyclone design factors on the phase separation process. A mathematical model (regression equation) of the efficiency of suspension purification from the studied parameters is obtained. The maximum degree of cleaning was obtained with a hole diameter in the nozzle of 4 mm. As the diameter of the hole in the nozzle increased, the degree of cleaning decreased.*

**Keywords:** hydrocyclone, cleaning efficiency, lower nozzle

При проведении различных технологических процессов в химической, металлургической, горнорудной промышленности, а также в технологическом процессе очистки природных и производственных сточных вод, зачастую приходится проводить обработку двухкомпонентных и многокомпонентных разбавленных и концентрированных суспензий и несмешивающихся жидкостей [1]. Для процессов гидродинамического разделения неоднородных, нерастворимых систем используется центробежное осаждение [2]. Применяются гидроциклоны. Гидроциклоны обладают рядом, достоинств: малая энергоёмкость, металлоёмкость, незначительные габаритные размеры, большая производительность.

Тем не менее, они не лишены недостатков: зависимость чистоты разделения дисперсионной системы от колебаний концентрации и состава дисперсной фазы, в питании аппарата; эрозионный износ внутренних поверхностей при длитель-

ной эксплуатации; неспособность получения абсолютно чистых продуктов, при разделении тонких суспензий и эмульсий [3-10]. Конструктивные факторы, влияющие на процесс разделения фаз, следующие:

- 1) конструкция верхней разгрузочной части гидроциклона,
- 2) форма входного отверстия и размеры питающего патрубка,
- 3) диаметр верхнего отводного отверстия
- 4) размеры цилиндрической части
- 5) угол конуса гидроциклона,
- 6) диаметр нижней насадки.

Нижние насадки служат для отвода более тяжелой фазы. Их изготавливают в виде сменных насадок с различными выходными отверстиями.

Для изучения влияния конструктивных и технологических параметров на процесс разделения фаз разработана экспериментальная установка, общий вид которой показан на рис. 1.

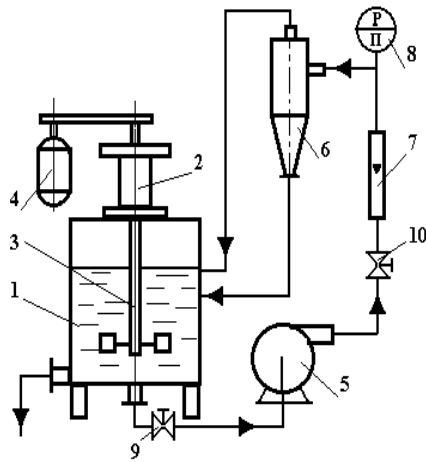


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

- 1 – бак приготовления исходной смеси,
  - 2 – корпус подшипников,
  - 3 – турбинная мешалка, 4 – электродвигатель,
  - 5 – центробежный насос, 6 – гидроциклон, 7 – ротаметр РС-7,
  - 8 – манометр, 9 – кран трехходовой, 10 – кран трехходовой
- Fig. 1. Experimental setup diagram:
- 1 – tank for preparing the initial mixture, 2 – bearing housing,
  - 3 – turbine mixer, 4 – electric motor,
  - 5 – centrifugal pump, 6 – hydrocyclone, 7 – rotameter RS-7,
  - 8 – pressure gauge, 9 – three-way valve, 10 – three-way valve

Конструкция гидроциклона представлена на рис. 2. Исследования проводились с концентрацией песка в воде 2,5 г/л; 5 г/л; 7,5 г/л, в которых менялись нижние насадки с выходными отверстиями диаметрами 4; 6; 8; 10 мм. Насадки крепились с помощью резьбовых соединений. Диаметр сливного патрубка равен  $d_n = 10 \text{ мм}$ , угол конуса равен  $\alpha = 20^\circ$ , диаметр питающего патрубка равен  $d_{пит} = 1/2 \text{ дюйма}$ . Использовались частицы песка размером 0,1 – 0,7 мм.

По результатам однофакторных исследований были определены интервалы и уровни варьирования факторов и реализована матрица плана эксперимента  $3^3$ .

Независимые переменные:  $X_1$  – размер частиц,  $X_2$  – концентрация,  $X_3$  – диаметр отверстия в насадке.

В качестве критерия оптимизации:  $Y$  – эффективность очистки, %.

Диапазоны варьирования факторов: 0,1 мм –  $X_1$  – 0,7 мм, интервал 0,3 мм; 2,5 –  $X_2$  – 7,5 г/л, интервал 2,5 г/л, 4 мм –  $X_3$  – 10 мм, интервал 2 мм.

Проводя обработку полученных экспериментальных данных по методике полного трехфакторного эксперимента, получена следующая математическая модель (уравнение регрессии):

$$y = 0,277778 \cdot x_1^2 - 0,22222 \cdot x_1 - 0,15373 \cdot x_2 - 0,10234 \cdot x_3 + 0,02133 \cdot x_2 \cdot x_3 + 1,73278$$

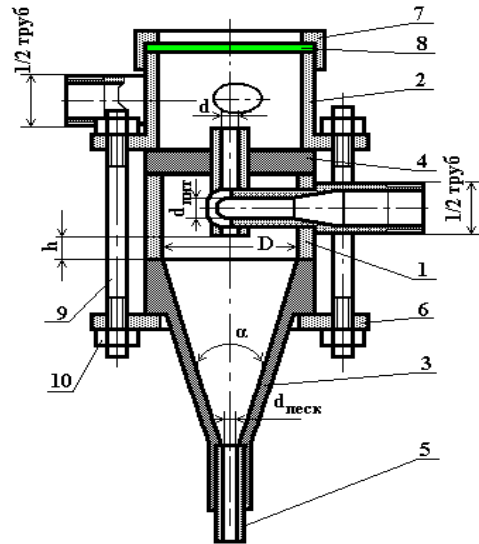
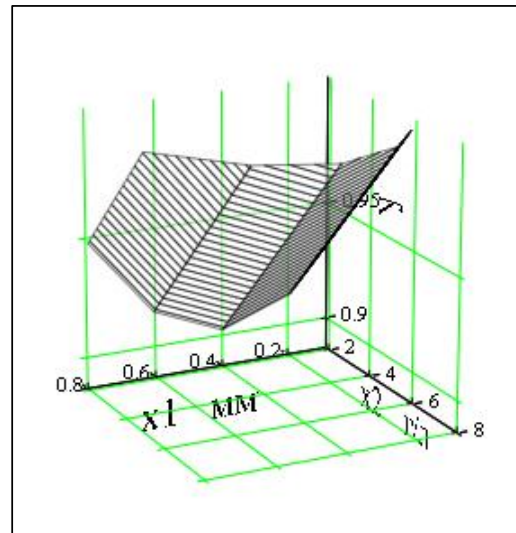


Рис. 2. Экспериментальный гидроциклон:

- 1 – цилиндрический корпус гидроциклона, 2 – корпус сливной камеры,
  - 3 – конус сменный,
  - 4 – фланец для закрепления сливного патрубка,
  - 5 – нижняя насадка, 6 – фланец, 7 – гайка накидная,
  - 8 – фонарь (стекло), 9 – шпилька, 10 – гайка
- Fig. 2. Experimental hydrocyclone:
- 1 – cylindrical body of the hydrocyclone, 2 – drain chamber body,
  - 3 – replaceable cone, 4 – flange for securing the drain pipe,
  - 5 – lower (sand) nozzle, 6 – flange, 7 – union nut,
  - 8 – lantern (glass), 9 – hairpin, 10 – nut

Моделируя полученное уравнение регрессии в среде MatCad получим его графическое изображение в виде поверхности (выборочно) (рис. 3-5).



у

Рис. 3. Зависимость степени очистки  $y$  от размера частицы  $x_1$  (мм) и концентрации  $x_2$  (г/л), при диаметре отверстия в насадке  $x_3 = 8$  мм

Fig. 3. The dependence of the degree of purification  $y$  on the particle size  $x_1$  (mm) and concentration  $x_2$  (g/l), with a hole diameter in the nozzle  $x_3 = 8$  mm

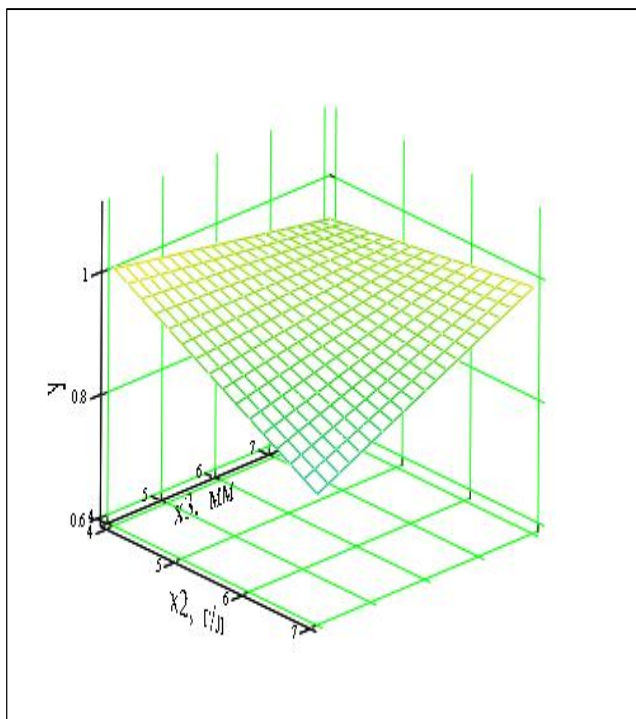


Рис. 4. Зависимость эффективности очистки  $y$  от концентрации  $x_2$  (г/л) и диаметра отверстия в насадке  $x_3$  (мм), при размере частиц  $x_1=0,1$  мм  
 Fig.4. Dependence of cleaning efficiency  $y$  on concentration  $x_2$  (g/l) and hole diameter in a nozzle  $x_3$  (mm), with particle size  $x_1=0.1$  mm

Результаты исследований показали высокую степень очистки в гидроциклоне от частиц песка – 96-99%. Максимальная степень очистки была получена при диаметре отверстия в насадке 4 мм. С увеличением диаметра отверстия в насадке степень очистки уменьшалась.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Терновский И.Г., Кутепов А.М. Гидроциклонирование. М.: Наука, 1994. 350 с.
2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия. 1973. 750 с.
3. Кундротас К.Р., Сидоров Е.А. Обоснование параметров устройства для очистки дизельного топлива от эмульсионной воды. Сборник: Молодежь и наука XXI века. Материалы 3-й Международной научно-практической конференции. Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия им. П.А. Столыпина. 2010. С. 52-54.
4. Варнаков В.В., Кундротас К.Р., Варнаков Д.В. Математическая модель процесса разделения эмульсии «дизельное топливо-вода» в цилиндрикоконических гидроциклонах. *Международный научный журнал*. ООО «Спектр», Москва. 2013. С. 99-102.
5. Сидоров Е.А., Кундротас К.Р. Расчёт рациональных конструктивных и режимных параметров при очистке дизельного топлива от эмульсионной воды в цилиндрикоконических гидроциклонах. В сборнике: Молодые ученые в решении актуальных проблем науки. Сборник молодых учёных. 2010. С. 38-41.

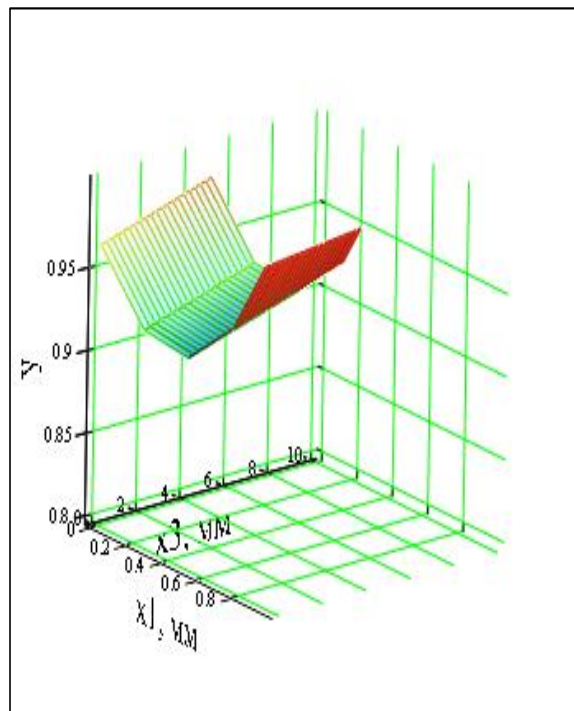


Рис. 5. Зависимость эффективности очистки  $y$  от размера частиц  $x_1$  (мм) и диаметра отверстия в насадке  $x_3$  (мм), при концентрации  $x_2=5$  г/л  
 Fig.5. Dependence of cleaning efficiency  $y$  on particle size  $x_1$  (mm) and hole diameter in the nozzle  $x_3$  (mm), at concentration  $x_2=5$  g/l

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

#### REFERENECES

1. Ternovsky I.G., Kutepov A.M. Hydrocyclonation. M.: Science, 1994. 350 p.
2. Kasatkin A.G. Basic processes and apparatuses of chemical technology. M.: Chemistry. 1973. 750 p.
3. Kundrotas K.R., Sidorov E.A. Justification of the parameters of a device for purifying diesel fuel from emulsion water. Collection: Youth and science of the XXI century. Materials of the 3rd International Scientific and Practical Conference. Ulyanovsk State Agricultural Academy named after. P.A. Stolypin. 2010. P. 52-54.
4. Varnakov V.V., Kundrotas K.R., Varnakov D.V. Mathematical model of the process of separating the “diesel fuel-water” emulsion in cylindrical-conical hydrocyclones. *International scientific journal*. LLC “Spektr”, Moscow. 2013. P. 99-102.
5. Sidorov E.A., Kundrotas K.R. Calculation of rational design and operating parameters when purifying diesel fuel from emulsion water in cylindrical-conical hydrocyclones. In the collection: Young scientists in solving current problems of science. Collection of young scientists. 2010. P. 38-41.

6. **Варнаков В.В., Варнаков Д.В., Кундротас К.Р.** Обоснование и расчет рациональных конструкционных параметров гидроциклона для снижения загрязненности дизельного топлива. *Международный технико-экономический журнал*. 2011. № 2. С. 100-105.
7. **Блиничев В.Н., Лабутин А.Н. и др.** Проблемы разработки энерго- и ресурсосберегающих процессов, реакторных систем и оборудования интенсивного действия, моделирования и оптимального управления. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2023. Т. 66, вып.7. С. 185-202. DOI:10.6060/ivkkt.20236607.6845j
8. **Гаврилин В.М., Афонин С.Б., Ялышев Ф.Н., Колобов М.Ю.** Влияние диаметра насадки на эффективность очистки суспензии в гидроциклоне. Сборник материалов XV Всероссийской научно-практической конференции «Надежность и долговечность машин и механизмов». Иваново, 18 апреля 2024. С. 42–45.
9. **Лесин А.В., Валеев С.И., Булкин В.А.** Перспективы развития разделения суспензий и эмульсий в гидроциклонах. *Вестник технологического университета*. 2015. Т. 18, № 10. С. 55-57.
10. **Верин Д.Ю., Валеев С.И., Булкин В.А.** Гидродинамика цилиндрикоконического гидроциклона для разделения эмульсий с учетом эффективной вязкости. *Вестник Казанского технологического университета*. 2013. Т. 15, № 15. С. 117-119.
6. **Varnakov V.V., Varnakov D.V., Kundrotas K.R.** Justification and calculation of rational design parameters of a hydrocyclone to reduce diesel fuel contamination. *International technical and economic journal*. 2011. N 2. P. 100-105.
7. **Blinichev V.N., Labutin A.N. et al.** Problems of development of energy- and resource-saving processes, reactor systems and equipment of intensive action, modeling and optimal control. *Izv.vuzov. Chemistry and chemical technology*. 2023. Vol. 66, issue 7. P. 185-202. DOI:10.6060/ivkkt.20236607.6845j
8. **Gavrilin V.M., Afonin S.B., Yalyshev F.N., Kolobov M.Yu.** The influence of the nozzle diameter on the efficiency of cleaning the suspension in a hydrocyclone. Collection of materials from the XV All-Russian Scientific and Practical Conference “Reliability and Durability of Machines and Mechanisms.” Ivanovo, April 18, 2024. pp. 42–45.
9. **Lesin A.V., Valeev S.I., Bulkin V.A.** Prospects for the development of separation of suspensions and emulsions in hydrocyclones. *Bulletin of the Technological University*. 2015. T. 18, N 10. P. 55-57.
10. **Verin D.Yu., Valeev S.I., Bulkin V.A.** Hydrodynamics of a cylindrical-conical hydrocyclone for separating emulsions taking into account effective viscosity. *Bulletin of Kazan Technological University*. 2013. T. 15, N 15. P. 117-119.

Поступила в редакцию 27.03.2024  
Принята к опубликованию 03.05.2024

Received 27.03.2024  
Accepted 03.05.2024