

ВЛИЯНИЕ УГЛА КОНУСНОСТИ ГИДРОЦИКЛОНА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ СУСПЕНЗИИ

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: mikhaikolobov@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. С уменьшением угла конусности гидроциклона улучшается его разделяющая способность за счет увеличения времени пребывания суспензии в аппарате.

Ключевые слова: гидроциклон, эффективность очистки, угол конусности

INFLUENCE OF HYDROCYCLONE TAPER ANGLE ON SUSPENSION CLEANING EFFICIENCY

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

Kolobov Mikhail Yurievich, Yalyshev Fail Nailevich, Kokurina Galina Nikolaevna
Ivanovo State University of Chemical Technology,
Ivanovo, Russia. 153000, Ivanovo region, Ivanovo, Sheremetevsky Ave., 7.
E-mail: mikhaikolobov@rambler.ru, yalyshev.fail@yandex.ru, galnikkok_79@mail.ru

An experimental setup has been developed to study the effect of hydrocyclone design factors on the phase separation process. A mathematical model (regression equation) of the suspension cleaning efficiency from the parameters under study has been obtained. With a decrease in the hydrocyclone cone angle, its separating ability improves due to an increase in the residence time of the suspension in the device.

Keywords: hydrocyclone, cleaning efficiency, cone angle

Темпы потребления водных ресурсов промышленными предприятиями ускоряются с каждым годом. За последнее время возросли требования не только к объему и качеству сбрасываемой воды, но и к стоимости ее очистки перед сбросом. По этой причине возврат отработанной воды в технологический цикл, разработка и внедрение эффективных и недорогих в обслуживании систем очистки позволяют значительно сократить водопотребление и объем сбрасываемых стоков, снизить затраты на водоочистку [1–3].

На сегодняшний день гидроциклоны приобрели актуальность и прочно заняли преобладающие позиции при выборе механизма для очистки жидкости от механических загрязнений. Произошло это благодаря ряду преимуществ гидроциклонов по сравнению с другими методами механической очистки.

Это – наличие малых размеров, большая производительность, отсутствие подвижных частей, относительно малые затраты на очистку кубометра жидкости, а также возможность объединить несколько гидроциклонов в один большой комплекс – мультигидроциклон [2, 4, 5].

Наибольшее распространение в отечественном промышленном производстве получили цилиндрикоконические гидроциклоны [6–9].

Классический гидроциклон (рис. 1) состоит из цилиндрикоконического корпуса 1 с тангенциальным вводом 2, коаксиально расположенных сливного патрубка 3 и нижней насадки 4.

Промывочная жидкость под давлением подается в корпус гидроциклона по тангенциальному вводу, благодаря чему приобретает вращательное движение, обеспечивающее за счет действия центробежных сил классификацию (разделе-

ние) исходного материала на тонкий и грубый продукты. Грубый продукт (шлам) отбрасывается к конической поверхности гидроциклона, по ней, вращаясь, перемещается к нижней насадке и выходит через нее из гидроциклона. Обусловленная вращением потока центробежная сила вблизи оси гидроциклона настолько значительна, что жидкость в центральной части гидроциклона разрывается, в результате чего образуется воздушный столб в виде вихревого шнура, вдоль которого движется восходящий поток, выносящий в слив через сливной патрубок более тонкий продукт. Таким образом, в гидроциклоне создаются два вращающихся в одну сторону спиральных потока: внешний (нисходящий) и внутренний (восходящий). Более подробно вопросы влияния отдельных конструктивных и технологических факторов на показатели гидроциклонирования рассмотрены в монографиях [4, 10-12].

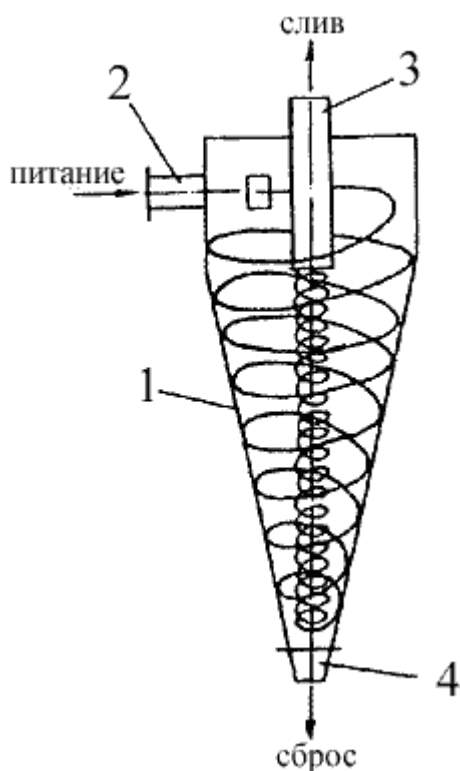


Рис. 1. Гидроциклон
Fig. 1. Hydrocyclone

Анализ опубликованных работ показывает, что в вопросе определения конструктивных параметров напорного гидроциклона пока нет единого мнения относительно оптимальных размеров высоты цилиндрической части и угла конусности. Следовательно, конструкции из различных отраслей в области очистки сточных вод не всегда дают положительные результаты. Поэтому в каждом конкретном случае необходима провер-

ка опытным путем, то есть путем экспериментальных исследований в лаборатории на исходной жидкости с заданными характеристиками [12-16].

Для изучения влияния конструктивных и технологических параметров на процесс разделения фаз разработана экспериментальная установка [17, 18]. Конструкция гидроциклона представлена на рис. 2.

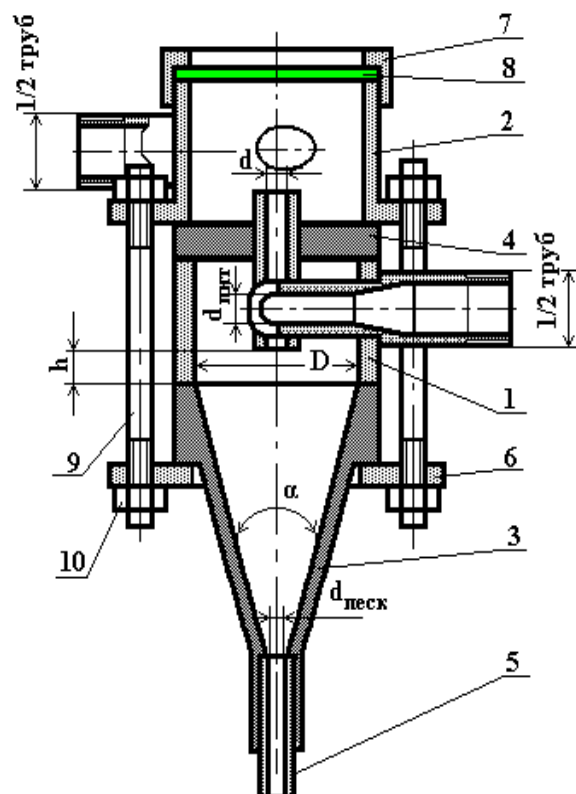


Рис. 2. Экспериментальный гидроциклон:
1 – цилиндрический корпус гидроциклона,
2 – корпус сливной камеры,
3 – конус сменный,
4 – фланец для закрепления сливного патрубка,
5 – нижняя насадка, 6 – фланец, 7 – гайка накидная,
8 – фонарь (стекло), 9 – шпилька, 10 – гайка
Fig. 2. Experimental hydrocyclone:
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

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 6; 8; 10 мм. Насадки крепились с помощью резьбовых соединений. Диаметр сливного патрубка равен $d_{\text{п}} = 10 \text{ мм}$, угол конуса гидроциклона α изменяли 10° , $17,5^\circ$, 25° . Диаметр питающего патрубка равен $d_{\text{пит}} = 1/2 \text{ дюйма}$. Использовались частицы песка размером 0,1 – 0,7 мм.

Давление на входе в гидроциклон рекомендуется поддерживать постоянным, в наших исследованиях было равно 2 кгс/см².

По результатам исследований выполнено математическое моделирование методом полного трехфакторного эксперимента, предполагающее построение регрессионной зависимости от трех переменных.

Независимые переменные: X_1 – концентрация, X_2 – диаметр отверстия в насадке, X_3 – угол конусности. В качестве критерия оптимизации: Y – эффективность очистки, %.

Диапазоны варьирования факторов: 2,5 – X_1 – 7,5 г/л, интервал 2,5 г/л; 6 мм – X_2 – 10 мм, интервал 2 мм; угол конусности 10° – X_3 – 25° , интервал $7,5^\circ$. Получено следующее уравнение (выборочно, для частиц 0,1 мм):

$$y(x_1, x_2, x_3) = 0.0063x_1x_2 - 0.0025x_1x_2x_3 - 0.0128x_1^2 - 0.0264x_1x_3 + 0.494x_1 + 0.065x_2^2 + 0.0107x_2x_3 - 1.147x_2 - 0.0034x_3^2 + 0.1264x_3 + 96,765$$

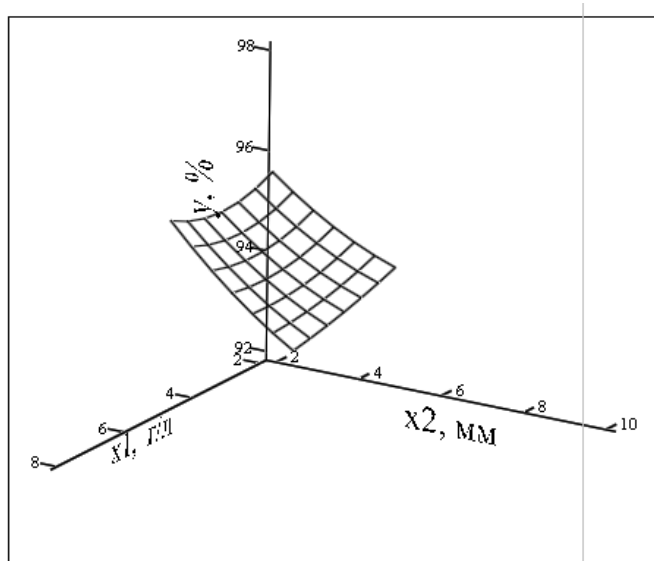


Рис. 3. Зависимость эффективности очистки y от концентрации X_1 и диаметра отверстия в насадке X_2 (при размере частиц 0,1 мм и угле конусности $X_3=100^\circ$)

Fig. 3. Dependence of cleaning efficiency y on concentration X_1 and diameter of the hole in the nozzle X_2 (with a particle size of 0.1 mm and a cone angle of $X_3=100^\circ$)

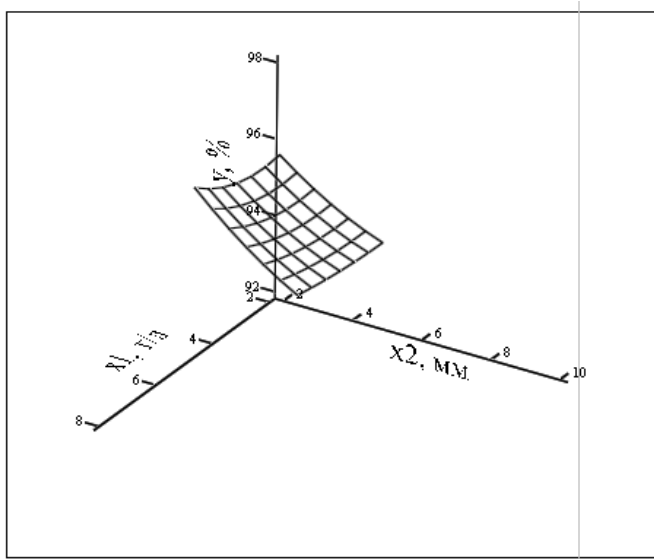


Рис. 4. Зависимость эффективности очистки y от концентрации X_1 и диаметра отверстия в насадке X_2 (при размере частиц 0,1 мм и угле конусности $X_3=25^\circ$)

Fig. 4. Dependence of cleaning efficiency y on concentration X_1 and diameter of the hole in the nozzle X_2 (with a particle size of 0.1 mm and a cone angle of $X_3=25^\circ$)

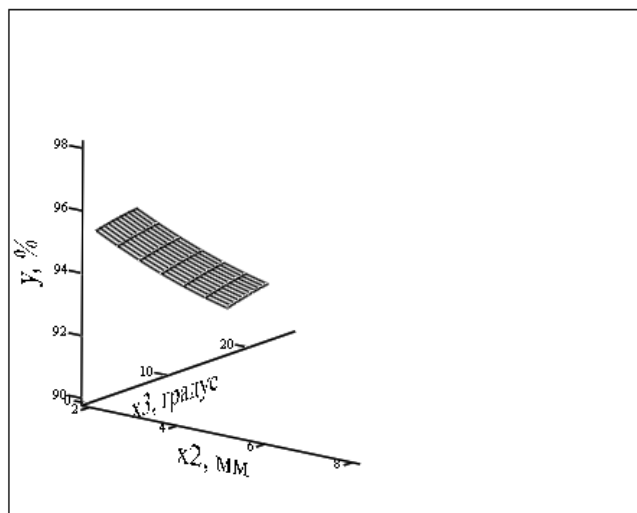


Рис. 5. Зависимость эффективности очистки y от диаметра отверстия в насадке X_2 и угла конусности X_3 (при размере частиц 0,1 мм и концентрации $X_1=2,5$ г/л)
Fig. 5. Dependence of the cleaning efficiency y on the diameter of the hole in the nozzle X_2 and the taper angle X_3 (with a particle size of 0.1 mm and a concentration of $X_1 = 2.5$ g/l)

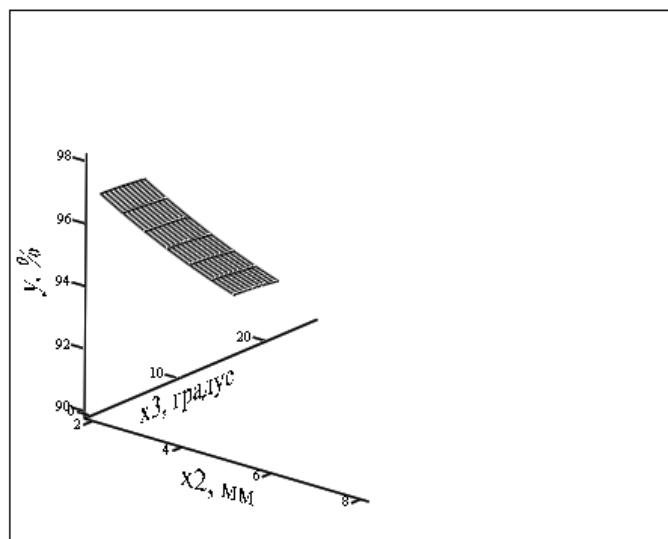


Рис. 6. Зависимость эффективности очистки y от диаметра отверстия в насадке X_2 и угла конусности X_3 (при размере частиц 0,1 мм и концентрации $X_1=5$ г/л)
Fig. 6. Dependence of the cleaning efficiency y on the diameter of the hole in the nozzle X_2 and the taper angle X_3 (with a particle size of 0.1 mm and a concentration of $X_1 = 5$ g/l)

Моделируя полученное уравнение регрессии в среде MatCad получим его графическое изображение в виде поверхности (рис. 3-6).

Не вызывает сомнения, что угол конусной части цилиндروконического гидроциклона влияет на эффективность классификации. С уменьшением угла конусности гидроциклона улучшается его

разделяющая способность за счет увеличения времени пребывания суспензии в аппарате.

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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов А.А., Чечевишников А.Л. [и др.]. Проблема пресной воды. Глобальный контекст политики России. М.: МГИМО-Университет, 2011. 87 с.

REFERENCES

1. Orlov A.A., Chechevishnikov A.L. [et al.]. The problem of fresh water. Global context of Russian policy. Moscow: MGIMO-University, 2011. 87 p.

2. **Башаров М.М., Сергеева О.А.** Устройство и расчет гидроциклонов: учеб. пособие. Казань: Вестфалика, 2012. 92 с.
3. **Богданов О.С.** Справочник по обогащению руд: в 4 т. Т. 2. Основные процессы. М.: Недра, 1982. 1500 с.
4. **Терновский И.Г., Кутепов А.М.** Гидроциклонирование. М.: Наука, 1994. 350 с.
5. **Касаткин А.Г.** Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия. 1973. 750 с.
6. **Бауман А.В.** Гидроциклоны. Теория и практика.: Новосибирск, Гормашэкспорт, 2020. 56 с.
7. **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.
8. **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.
9. **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
10. **Шестов Р.Н.** Гидроциклоны. Л.: Машиностроение, 1964. 80 с.
11. **Поваров А.И.** Гидроциклоны на обогатительных фабриках. М., «Недра», 1978. 232 с.
12. **Шевцов М.Н., Войтов Е.Л., Колпакова В.П.** Выбор оптимальной высоты напорного гидроциклона для очистки сточных вод горнодобывающих предприятий. *Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета*. 2023. № 1(54). С. 73–82.
13. **Бусарев А.В., Селюгин А.С., Каюмов Ф.Ф.** К вопросу очистки поверхностных стоков в гидроциклонных установках. *Современные наукоемкие технологии*. 2016. № 10-2. С. 229–232.
14. **Бусарев А.В., Селюгин А.С., Шешегова И.Г., Урмитова Н.С.** Гидроциклонные установки подготовки воды для заводнения нефтеносных горизонтов с целью повышения их нефтеотдачи. *Нефтегазовое дело*. 2015. № 4. С. 199–215.
15. **Старостин А.Г., Федотова О.А., Кобелева А.Р.** Очистка сточных вод от мелкодисперсных частиц на гидроциклоне. *Вестник ПНИПУ*. 2020. № 1. С. 99–112.
16. **Яблонский В.О.** Выбор конструкции и режимов работы гидроциклона для очистки сточных вод производства ПВХ напорной флотацией. *Известия ВолгГТУ*. 2012. № 1(88). С. 68–70.
17. **Гаврилин В.М., Афонин С.Б., Ялышев Ф.Н., Колобов М.Ю.** Влияние диаметра насадки на эффективность очистки суспензии в гидроциклоне. Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов XV Всероссийской научно-практической конференции. Иваново, 18 апреля 2024. С. 42–45.
18. **Колобов М.Ю., Ялышев Ф.Н., Кокурина Г.Н.** Влияние технологических параметров на эффективность очистки суспензии в гидроциклоне. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2024. № 2. С. 68-71. DOI: 10.6060/snt.20247802.0009
2. **Basharov M.M., Sergeeva O.A.** The device and calculation of hydrocyclones: textbook. manual. Kazan: Vestfalika, 2012. 92 p.
3. **Bogdanov O.S.** Handbook of ore enrichment: in 4 volumes. V 2. Basic processes. Moscow: Nedra, 1982. 1500 p.
4. **Ternovsky I.G., Kutepov A.M.** Hydrocycloning. Moscow: Science, 1994. 350 p.
5. **Kasatkin A.G.** Basic processes and apparatuses of chemical technology. Moscow: Chemistry. 1973. 750 p.
6. **Bauman A.V.** Hydrocyclones. Theory and practice: Novosibirsk, Gormasheksport, 2020. 56 p.
7. **Varnakov V.V., Kundrotas K.R., Varnakov D.V.** Mathematical model of the process of separation of the emulsion "diesel fuel-water" in cylindrical-conical hydrocyclones. *International scientific journal. ООО "Spectr", Moscow*. 2013. P. 99-102.
8. **Sidorov E.A., Kundrotas K.R.** Calculation of rational design and operating parameters for cleaning diesel fuel from emulsion water in cylindrical-conical hydrocyclones. In the collection: Young scientists in solving urgent problems of science. Collection of young scientists. 2010. P. 38-41
9. **Blinichev V.N., Labutin A.N. et al.** Problems of developing energy- and resource-saving processes, reactor systems and intensive equipment, modeling and optimal control. *ChemChemTech [Izv. Vyssh.Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V 66, issue 7. P. 185-202. DOI: 10.6060/ivkkt.20236607.6845j
10. **Shestov R.N.** Hydrocyclones. L.: Mechanical Engineering, 1964. 80 p.
11. **Povarov A.I.** Hydrocyclones at processing plants. Moscow, "Nedra", 1978. 232 p.
12. **Shevtsov M.N., Voitov E.L., Kolpakova V.P.** Selection of the optimal height of a pressure hydrocyclone for wastewater treatment at mining enterprises. *Bulletin of the Engineering School of the Far Eastern Federal University*. 2023. N 1(54). P. 73–82.
13. **Busarev A.V., Selyugin A.S., Kayumov F.F.** On the issue of surface runoff treatment in hydrocyclone units. *Modern science-intensive technologies*. 2016. N 10-2. P. 229–232.
14. **Busarev A.V., Selyugin A.S., Sheshhegova I.G., Urmitova N.S.** Hydrocyclone units for water treatment for flooding oil-bearing horizons in order to increase their oil recovery. *Oil and Gas Business*. 2015. N 4. P. 199–215.
15. **Starostin A.G., Fedotova O.A., Kobleleva A.R.** Wastewater treatment from fine particles using a hydrocyclone. *PNRPU Bulletin*. 2020. N 1. P. 99–112.
16. **Yablonskiy V.O.** Selection of the design and operating modes of a hydrocyclone for cleaning wastewater from PVC production by pressure flotation. *Bulletin of VolGTU*. 2012. N 1(88). P. 68–70.
17. **Gavrilin V.M., Afonin S.B., Yalyshev F.N., Kolobov M.Yu.** Influence of the nozzle diameter on the efficiency of cleaning the suspension in a hydrocyclone. Reliability and durability of machines and mechanisms. Collection of materials of the XV All-Russian scientific and practical conference. Ivanovo, April 18, 2024. P. 42–45.
18. **Kolobov M.Yu., Yalyshev F.N., Kokurina G.N.** Influence of process parameters on the efficiency of cleaning the suspension in a hydrocyclone. *Modern high technology. Regional application*. 2024. N 2. P. 68-71. DOI: 10.6060/snt.20247802.0009

Поступила в редакцию(Received) 14.12.2024
Принята к опубликованию (Accepted) 27.01.2025