

**ВЛИЯНИЕ ДИАМЕТРА СЛИВНОГО ПАТРУБКА ГИДРОЦИКЛОНА  
НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ СУСПЕНЗИИ**

**Колобов М.Ю., Кокурина Г.Н., Колобова В.В.**

Колобов Михаил Юрьевич, 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, galnikkok\_79@mail.ru  
Колобова Валентина Владимировна  
ФГБОУ ВО «Верхневолжский государственный агробиотехнологический университет»,  
г. Иваново, Россия. 153012, Ивановская область, г. Иваново, ул. Советская, д. 45.  
E-mail: kolobovavv@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 увеличением диаметра сливного патрубка гидроциклона ухудшается его разделяющая способность за счет уменьшения времени пребывания суспензии в аппарате.*

**Ключевые слова:** гидроциклон, эффективность очистки, диаметр сливного патрубка

**INFLUENCE OF HYDROCYCLONE DRAIN PIPE DIAMETER  
ON SUSPENSION CLEANING EFFICIENCY**

**Kolobov M.Yu., Kokurina G.N., Kolobova V.V.**

Kolobov Mikhail Yurievich, Kokurina Galina Nikolaevna  
Ivanovo State University of Chemistry and Technology,  
Ivanovo, Russia. 153000, Ivanovo region, Ivanovo, Sheremetevsky Ave., 7.  
E-mail: mikhaikolobov@rambler.ru, galnikkok\_79@mail.ru  
Kolobova Valentina Vladimirovna  
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Upper Volga State Agrobiotechnological University”,  
Ivanovo, Russia. 153012, Ivanovo region, Ivanovo, st. Sovetskaya, 45.  
E-mail: kolobovavv@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. As the diameter of the hydrocyclone drain pipe increases, its separating capacity deteriorates due to a decrease in the residence time of the suspension in the apparatus.*

**Keywords:** hydrocyclone, cleaning efficiency, drain pipe diameter

В химической промышленности с помощью гидроциклонов отделяют промежуточные продукты или отходы в виде суспензии, например при выщелачивании, осаждении, кристаллизации - в неорганической химии или полимеризации и конденсации - в органической химии, для предварительного сгущения тонких осадков гидрата окиси алюминия, цинковой и свинцовой пыли и др. Возврат отработанной воды в технологический цикл, разработка и внедрение эффективных и не-

дорогих 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 цилиндрикониические гидроциклоны [6-11].

Гидроциклон (рис. 1) представляет собой аппарат, состоящий из цилиндрической части 1, к

которой снизу примыкает широким основанием коническая часть 7, а сверху крепится промежуточная сливная камера 3 с патрубком 2 для отвода верхнего продукта. Между цилиндрической частью и сливной камерой устанавливается диафрагма 4 с патрубком 6, а в нижней части конуса закрепляются сменные насадки 8. Движущихся частей в гидроциклоне нет. Обычно гидроциклон устанавливают вертикально (вершиной конуса вниз), но он может быть также установлен и горизонтально или наклонно.

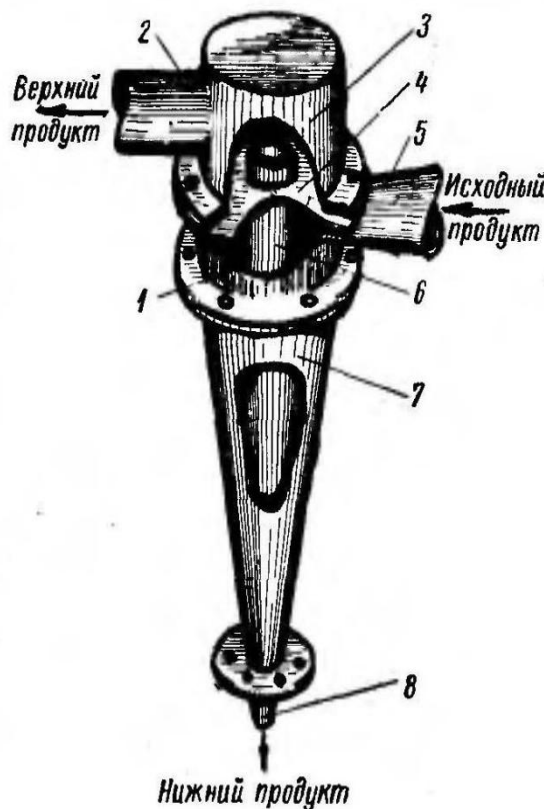


Рис. 1. Общий вид гидроциклона  
Fig. 1. General view of a hydrocyclone

Исходная смесь поступает под давлением через входной патрубок 5 тангенциально в верхнюю часть цилиндра и приобретает круговое движение. При этом возникают значительные центробежные силы, превышающие в десятки и сотни раз силу тяжести, под действием которых более тяжелая фаза движется от оси гидроциклона к его стенкам по спиральной траектории вниз и через нижнюю насадку выбрасывается из гидроциклона. Более легкая фаза движется во внутреннем спиральном потоке, направленном вверх, и выбрасывается из гидроциклона через патрубок для отвода верхнего продукта.

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 проверка 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 (рис. 2) [17]. Конструкция гидроциклона представлена на рис. 3.

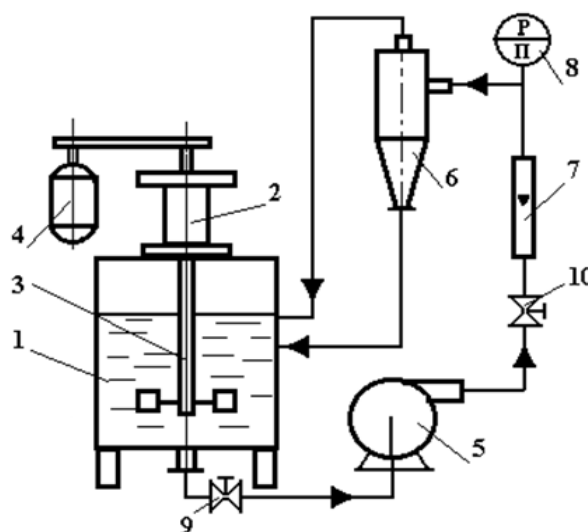


Рис. 2. Схема экспериментальной установки:

- 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. 2. Experimental setup diagram:

- 1 – initial mixture preparation tank, 2 – bearing housing, 3 – turbine mixer, 4 – electric motor, 5 – centrifugal pump, 6 – hydrocyclone, 7 – RS-7 rotameter, 8 – pressure gauge, 9 – three-way valve, 10 – three-way valve

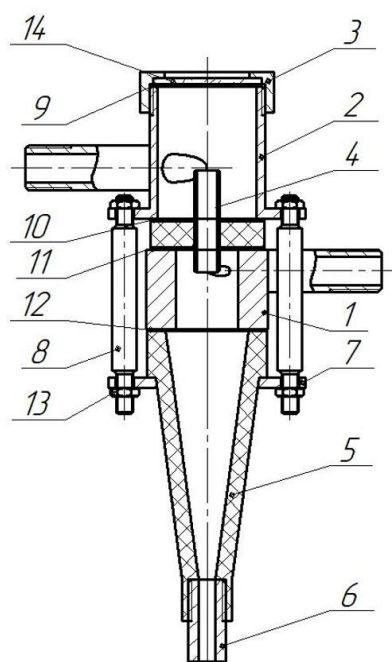


Рис. 3. Экспериментальный гидроциклон:

- 1 – цилиндрический корпус гидроциклона, 2 – корпус сливной камеры, 3 – гайка накидная, 4 – сливной патрубок, 5 – конус сменный, 6 – нижняя насадка, 7 – фланец, 8 – шпилька, 9, 10, 11, 12 – прокладка, 13 – гайка, 14 – фонарь (стекло)

Fig. 3. Experimental hydrocyclone:

- 1 – cylindrical hydrocyclone body, 2 – drain chamber body, 3 – union nut, 4 – drain pipe, 5 – replaceable cone, 6 – lower nozzle, 7 – flange, 8 – stud, 9, 10, 11, 12 – gasket, 13 – nut, 14 – lantern (glass)

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 изменяли 6; 10; 14 мм; угол конуса гидроциклона -  $17,5^{\circ}$ . Диаметр питающего патрубка равен  $d_{пит} = 1/2$  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/см<sup>2</sup>.

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 нижней насадке,  $X_3$  – диаметр сливного патрубка. 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; 6 –  $X_3$  – 14, интервал 4 мм.

Получено следующее уравнение (выборочно, для частиц 0,1 мм):

Моделируя полученное уравнение регрессии в среде MatCad получим его графическое изображение в виде поверхности (рис. 4-6).

$$y(x_1, x_2, x_3) = -0,8636x_1 - 0,8055x_2 - 1,722x_3 - 0,1374x_3^2 + 99,9235$$

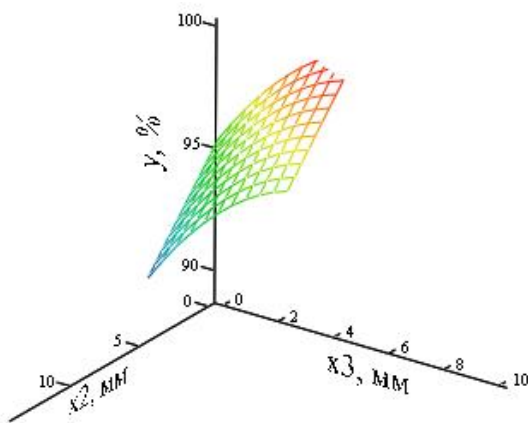


Рис. 4. Зависимость эффективности очистки  $y$  от диаметра отверстия в насадке  $X_2$  и диаметра сливного патрубка  $X_3$ , (при размере частиц 0,1 мм и концентрации  $x_1=5$  г/л)  
Fig. 4. Dependence of cleaning efficiency on the diameter of the hole in the nozzle  $X_2$  and the diameter of the drain pipe  $X_3$  (with a particle size of 0.1 mm and a concentration of  $x_1 = 5$  g/l)

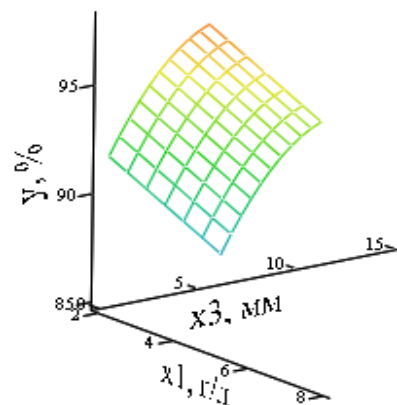


Рис. 5. Зависимость эффективности очистки  $y$  от концентрации  $X_1$  и диаметра сливного патрубка  $X_3$ , (при размере частиц 0,1 мм и диаметре отверстия в насадке  $x_2=8$  мм)  
Fig. 5. Dependence of cleaning efficiency on concentration  $X_1$  and diameter of drain pipe  $X_3$  (with particle size of 0.1 mm and diameter of hole in nozzle  $x_2=8$  mm)

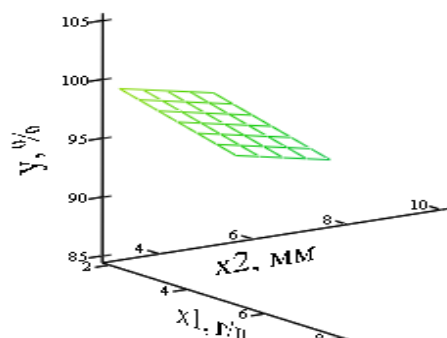


Рис. 6. Зависимость эффективности очистки  $y$  от концентрации  $X_1$  и диаметра отверстия в насадке  $X_2$ , (при размере частиц 0,1 мм и диаметре сливного отверстия  $x_3=10$  мм)  
Fig. 6. Dependence of cleaning efficiency on concentration  $X_1$  and diameter of hole in nozzle  $X_2$  (with particle size of 0.1 mm and diameter of drain hole  $x_3=10$  mm)

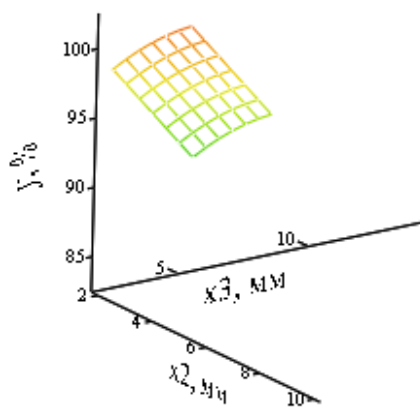


Рис. 7. Зависимость эффективности очистки  $y$  от диаметра отверстия в насадке  $X_2$  и диаметра сливного патрубка  $X_3$ , (при размере частиц 0,7 мм и концентрации  $x_1=5$  г/л)  
Fig. 7. Dependence of cleaning efficiency on the diameter of the hole in the nozzle  $X_2$  and the diameter of the drain pipe  $X_3$  (with a particle size of 0.7 mm and a concentration of  $x_1 = 5$  g/l)

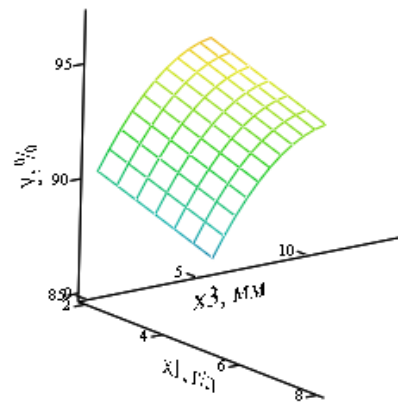


Рис. 8. Зависимость эффективности очистки  $y$  от концентрации  $X_1$  и диаметра сливного патрубка  $X_3$ , (при размере частиц 0,7 мм и диаметре отверстия в насадке  $x_2=8$  мм)  
Fig. 8. Dependence of cleaning efficiency on concentration  $X_1$  and diameter of drain pipe  $X_3$  (with particle size of 0.7 mm and diameter of hole in nozzle  $x_2=8$  mm)

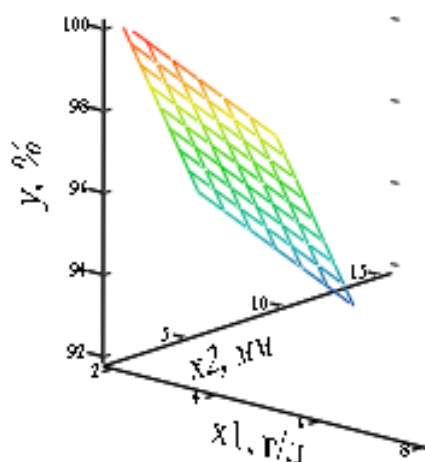


Рис. 9. Зависимость эффективности очистки  $y$  от концентрации  $X_1$  и диаметра отверстия в насадке  $X_2$ , (при размере частицы 0,7 мм и диаметре сливного отверстия  $x_3=10$  мм)  
Fig. 9. Dependence of cleaning efficiency on concentration  $X_1$  and diameter of hole in nozzle  $X_2$  (with particle size of 0.7 mm and diameter of drain hole  $x_3=10$  mm)

Получено следующее уравнение (выборочно, для частиц 0,7 мм):  $y(x_1, x_2, x_3) = -0,6092x_1 - 1,1871x_2 - 1,7921x_3 - 0,1646x_3^2 + 101,0742$

Моделируя полученное уравнение регрессии в среде MatCad получим его графическое изображение в виде поверхности (рис. 7-9).

Таким образом, получена математическая модель (уравнение регрессии) эффективности очистки суспензии от исследуемых параметров.

Увеличение диаметра сливного патрубка приводит к ухудшению разделения. Объясняется это тем, что увеличение размеров сливного патрубка уменьшает время пребывания разделяемого продукта в гидроциклоне.

*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

REFERENCES

1. Орлов А.А., Чечевишников А.Л. [и др.]. Проблема пресной воды. Глобальный контекст политики России. М.: МГИМО-Университет, 2011. 87 с.
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. 2010. С. 38-41.
9. Блиничев В.Н., Лабутин А.Н., Зуева Г.А., Колобов М.Ю., Алексеев Е.А., Волкова Г.В., Воробьев С.В., Козлов А.М., Кокурина Г.Н., Лысова М.А., Миронов Е.В., Натарева С.В., Невиницын В.Ю., Пономарева Ю.Н., Постникова И.В., Сахаров С.Е., Чагин О.В. 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.
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. 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. M.: Chemistry. 1973. 750 p.
6. Bauman A.V. Hydrocyclones. Theory and practice: Novosibirsk, Gormasheexport, 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. OOO "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. 2010. P. 38-41.
9. Blinichev V.N., Labutin A.N., Zueva G.A., Kolobov M.Yu., Alekseev E.A., Volkova G.V., Vorobyov S.V., Kozlov A.M., Kokurina G. N., Lysova M.A., Mironov E.V., Natareev S.V., Nevinityn V.Yu., Ponomareva Yu. N., Postnikova I.V., Sakharov S.E., Chagin O.V. Problems of developing energy- and resource-saving processes, reactor systems and intensive equipment, modeling and optimal control. *ChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 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., Sheshogova 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., Kobleva 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.

Поступила в редакцию(Received) 10.05.2025

Принята к опубликованию (Accepted) 18.06.2025