

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2020, №6, Том 12 / 2020, No 6, Vol 12 <https://esj.today/issue-6-2020.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/12SAVN620.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Высоцкий Л.И., Изюмов Ю.А., Высоцкий И.С., Черненко Ю.В. Совершенствование конструкции впускных и выпускных патрубков биконического гидроциклона // Вестник Евразийской науки, 2020 №6, <https://esj.today/PDF/12SAVN620.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Vysotsky L.I., Izyumov Yu.A., Vysotsky I.S., Chernenko Yu.V. (2020). Improving the design of the inlet and outlet nozzles of a biconical hydrocyclone. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 6(12). Available at: <https://esj.today/PDF/12SAVN620.pdf> (in Russian)

УДК 66.066.4:621.928.3

Высоцкий Лев Ильич

Доктор технических наук, профессор

E-mail: vysotli@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4539-2557>

Изюмов Юрий Анатольевич

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Саратов, Россия

Доцент кафедры «Теплогазоснабжение, вентиляция, водообеспечение и прикладная гидрогазодинамика»

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: izyumovya@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2872-5700>

РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=599530

Высоцкий Илья Сергеевич

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: Vysotskyis@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6979-4513>

Черненко Юрий Викторович

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Саратов, Россия

Аспирант

E-mail: Zevs_1234@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2948-6094>

РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=938567

Совершенствование конструкции впускных и выпускных патрубков биконического гидроциклона

Аннотация. Механическая очистка жидкостей от загрязнений является неотъемлемой частью большинства технологических схем водоподготовки. Выбор технологии и механизма очистки зависит от вида загрязнения и желаемого конечного результата очистки. Данная статья посвящена вопросу улучшения качества очистки жидкости с помощью гидроциклонов. Существует множество разнообразных конструкций гидроциклонов, большинство из которых конические сходящиеся. Однако, все они наделены одним конструктивным недостатком, препятствующим продвижению твердых частиц к выходному отверстию, и тем самым снижающим производительность процесса разделения. Чтобы исправить данный недостаток, мы в данной статье предлагаем конструкцию биконического гидроциклона, не имеющую аналогов (с расширяющимися конусами, широкие основания которых соединены спиралевидным каналом для отвода взвеси). Кроме того, предложен вариант расположения

питающих патрубков не нормально к продольной оси, а под некоторым углом, что дает определенные преимущества. Для улучшения условий отбора осветленной жидкости предлагается новая конструкция входной части трубки для отвода осветленной жидкости. Предлагаемая нами конструкция гидроциклона позволит увеличить производительность работы гидроциклонов. В данный момент ведутся эксперименты с данной моделью, результаты которых будут опубликованы позднее. В заключении можно сказать, что в статье представлена совершенно новая модель биконических гидроциклонов. Данные изменения гидроциклонов изменят существующий подход к конструктивной составляющей гидроциклонов, а также позволят увеличить производительность работы гидроциклонов.

Ключевые слова: гидроциклон; жидкость; очистка; производительность; загрязнение; конструктивные изменения; твердые частицы

Введение

Вопросу очистки жидкости уделяется большое внимание, так как это является важной частью борьбы за экологию окружающей среды. Кроме того, очищенная жидкость может быть вторично использована в некоторых производствах, имеющих замкнутую систему водооборота. Загрязнения в жидкостях могут быть механическими, биологическими, химическими и так далее [1; 2]. Механические загрязнения (такие как песок, глина, шлам и другие примеси) попадают в водооборотную систему в процессе таяния снега, выпадения дождей, способствующие разрушению кирпичной кладки, колодцев и так далее. Химические загрязнения появляются в ходе хозяйственной многообразной человеческой деятельности. Биологические загрязнения является одним из распространенных видов загрязнения воды. Связано это с попаданием в воду бактерий, вирусов, патогенных микроорганизмов и так далее. Исходя из этого, существует множество способов очистки загрязненной жидкости [3–6]. Рассмотрим способ очистки жидкостей от механических примесей [7]. Для этого можно использовать песколовки, отстойники, сепараторы, центрифуги с фильтрующими лопостями, гидроциклоны и так далее [8–10]. Гидроциклоны получили наибольшее применение в процессе очистки жидкости от механических загрязнений. Связано это с тем, что гидроциклоны имеют малые габариты, в отличие от других агрегатов, а также большую производительность, хорошую степень очистки, отсутствие подвижных элементов в конструкции, относительно малые затраты на очистку кубометра жидкости, возможность объединить несколько гидроциклонов в один большой комплекс – мультигидроциклон [11; 12]. Гидроциклоны могут использоваться на станциях очистки, в металлургической, машиностроительной, угольной и в нефтедобывающей промышленности, а также при очистки сточных вод на автомойках. В зависимости от размеров гидроциклона и напора подаваемой жидкости, агрегат способен очистить жидкость от твердых частиц размером от нескольких сантиметров до 5 микрон.

Гидроциклон представляет собой аппарат, предназначенный для осветления вод, сгущения шламов и продуктов флотации. Существует несколько разновидностей гидроциклонов, отличающиеся друг от друга конструктивными элементами. Это – цилиндрические, цилиндроконические, винтовые, батарейные и так далее [13]. Наиболее широкое применение приобрел цилиндроконический гидроциклон.

Данный гидроциклон состоит из конической и цилиндрической частей. Традиционно гидроциклон устанавливают вертикально (узкая часть конуса направлена вниз). Но также он может быть расположен под наклоном и горизонтально.

Процесс очистки жидкости в гидроциклонах происходит следующим образом. Очищаемая жидкость подается в гидроциклон под напором тангенциально его оси в верхнюю часть, пробитая круговое движение. При работе гидроциклона возникает воздушный столб.

Данный воздушный столб несет большое значение для разделяющего действия гидроциклона. В процессе работы гидроциклона действуют две основные силы. Это сила тяжести и центробежная сила. Под действием центробежной силы твердые частицы отбрасываются к внутренней поверхности гидроциклона (в процессе работы гидроциклона центробежные силы могут превышать силу тяжести в сотни раз). Где под действием силы тяжести постепенно перемещаются в нижнюю часть гидроциклона по направлению к выходному отверстию для отвода шлама. А более легкие частицы движутся во внутреннем потоке, который направлен вверх, где с помощью отводящего патрубка удаляются из гидроциклона.



Рисунок 1. Цилиндрикоконический гидроциклон
(рисунок с <http://www.promek-ural.ru/catalogue/gidrotsiklon-gts-500>)

Новый способ прогнозирования эффективности гидроциклонов с помощью светодисперсной фазы был рассмотрен в работе [14]. Влияние удлиненной вертикальной трубы на эффективность отделения циклона было рассмотрено в работе [15]. В работе [16] была проведена оценка эффективности жидкостно-жидкостных гидроциклонов с использованием анализа траекторий. Разработка нового подхода к оценке эффективности обеззараживания гидроциклонов описано в работе [17]. В работе [18] было проведено исследование движения твердых частиц в гидравлическом циклоне.

В работе [19] мы показали, нелогичность конструкции традиционных гидроциклонов. Исходя из данных представленных в работе [19], можно сказать, что нелогичность конструкции существующих гидроциклонов связана с тем, что основные силы, действующие в процессе работы гидроциклона, а именно, сила тяжести и центробежная сила, направлены на встречу, друг друга, что не способствует, а, наоборот, препятствует продвижению твердых частиц к сливу, как показано на рисунке 2.

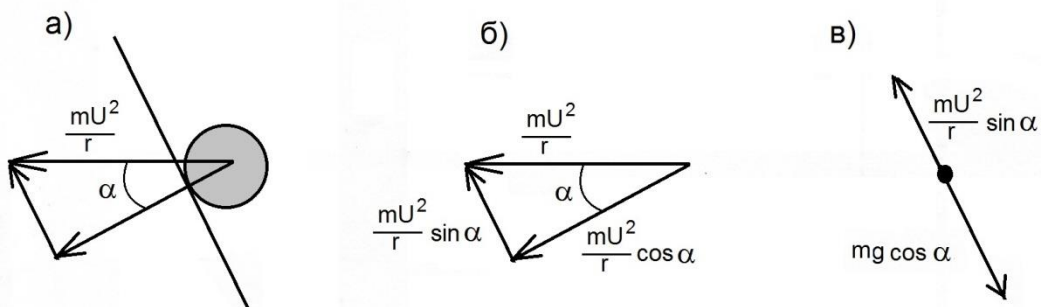


Рисунок 2. Схема сил, действующих на тяжелую частицу:
а) у боковой стенки гидроциклона; б) компоненты центробежной силы;
в) суммарная сила, действующая на частицу [19]

На частицу, достигшую стенки, будут действовать силы (рисунок 2):

$$\bullet \text{ центробежная } F_{\text{ЦБ}} = \frac{mu^2}{r}, \quad (1)$$

где m – масса частицы с учётом действия архимедовых сил; u – скорость частицы; r – радиус сечения гидроциклона;

$$\bullet \text{ сила тяжести } G = mg. \quad (2)$$

Частица будет двигаться в направлении образующей конической части гидроциклона под действием суммы проекций на это направление указанных сил (рисунок 2в). Она равна

$$R = mg \cos \alpha - \frac{mu^2}{r} \sin \alpha. \quad (3)$$

За положительное направление здесь выбрано направление к выходному отверстию. Из приведённой схемы с очевидностью следует вывод, что для продвижения частицы к выходному отверстию необходимо выполнение условия

$$R > 0 \text{ или } mg \cos \alpha > \frac{mu^2}{r} \sin \alpha \text{ или } \frac{u^2}{r} < \frac{g}{\tan \alpha} \quad (4)$$

Отсюда

$$\tan \alpha < \frac{gr}{u^2} = \frac{1}{Fr_r}, \quad (5)$$

$$\text{где } Fr_r = \frac{u^2}{gr} - \text{число Фруда.} \quad (6)$$

Итак, установлено, что для того, чтобы тяжёлые частицы двигались к выходному отверстию в существующих конструкциях конических гидроциклонов, необходимо, чтобы угол конусности удовлетворял условию

$$\tan \alpha < \frac{1}{Fr_r} = \frac{gr}{u^2} \quad (7)$$

Например, если $u = 5$ м/с; $r = 0,1$ м; $g = 9,81$ м/с², то получится, что

$$\tan \alpha < \frac{9,81 \cdot 0,1}{25} \approx 0,4, \alpha \cong 2^\circ, \quad (8)$$

то есть угол конусности должен быть менее 2° .

Если при таких же условиях $u = 1$ м/с, то окажется, что должно быть $\tan \alpha < 0,98$ и $\alpha < 45^\circ$. Обычно принимают $\alpha = 10^\circ - 20^\circ$.

Из изложенного выше следует, что в данной конструкции гидроциклона компонента центробежной силы не содействует, а препятствует продвижению частиц к выходному отверстию.

В работе [20] мы представили совершенно новую модель гидроциклона – биконический гидроциклон (смотреть рисунок 3), способный повысить производительность очистки при работе агрегата. Достигается это за счет изменения конструкции гидроциклона. Данные изменения конструкции гидроциклона позволят использовать силы, действующие в процессе работы гидроциклона (центробежные силы и силы тяжести), не во вред, как в существующих гидроциклонах, а с полезным действием друг на друга.

Однако в данной конструкции гидроциклона, питающие патрубки подведены нормально (перпендикулярно) к оси гидроциклона. Это приведет к тому, что поступающая через питающие патрубки жидкость, делая один оборот, будет врезаться сама в себя, создавая

некоторые затруднения продвижения твердых частиц к спиралевидной щели, снижению качества разделения и снижения производительности гидроциклона.

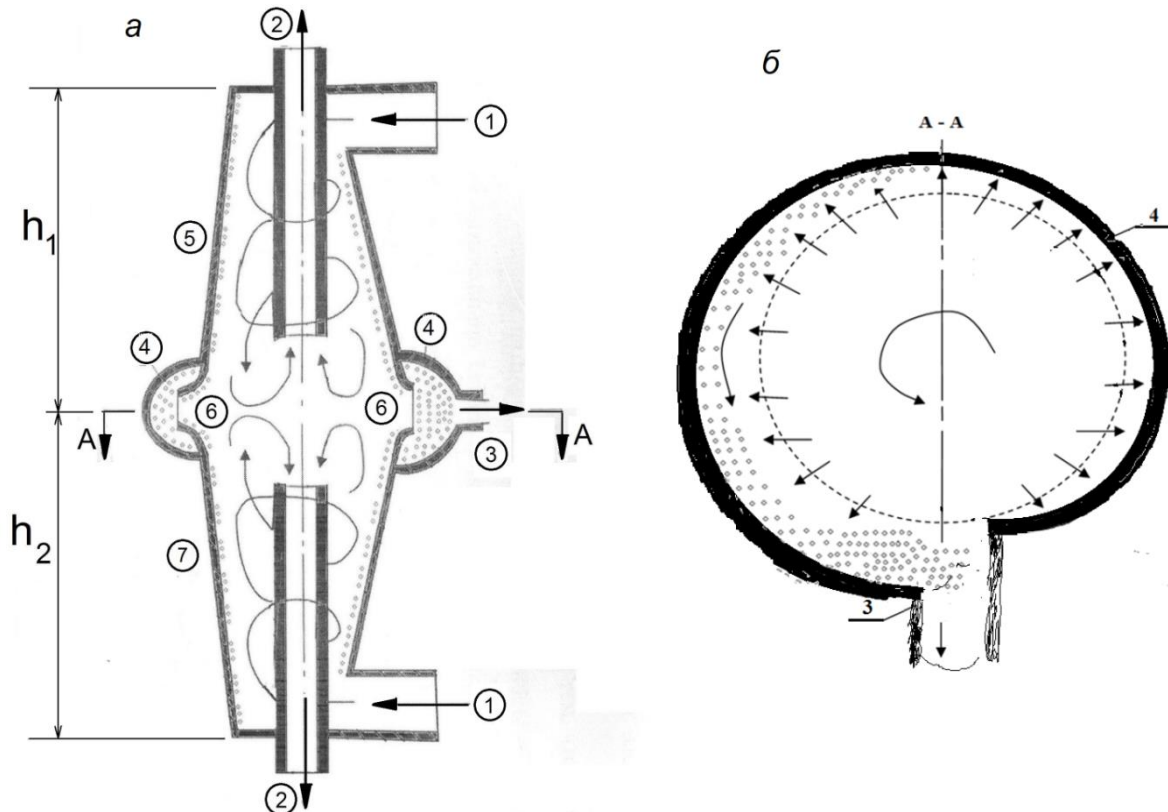


Рисунок 3. Схема биконического гидроциклона: а) продольный разрез по оси гидроциклона; б) спиралевидный канал гидроциклона (составлено авторами)

Для устранения данного недостатка предлагается изменить конструкцию входного патрубка (1) гидроциклона, то есть подвести исходный поток не перпендикулярно, а под некоторым углом α к продольной оси гидроциклона на протяжении одного оборота жидкости. По форме поперечного сечения подводящий патрубок может быть выполнен в виде круга, прямоугольника или другой геометрической фигуры. Однако, как показали исследования Шестова Р.Н. [21], наиболее эффективным, с точки зрения производительности, является вертикальный прямоугольник с соотношением вертикального и горизонтального размера 3:1. Устройство питающего патрубка под некоторым углом α к продольной оси гидроциклона приведет к тому, что поступающая жидкость будет быстрее продвигаться в направлении спиралевидного отводного канала (4). Это позволит увеличить производительность гидроциклона. Угол α может быть вычислен по формуле (9)

$$\alpha = \arctg \frac{h}{2\pi r} \quad (9)$$

где h – высота входного патрубка, а r – радиус крышки корпуса.

В работе [20] отбор осветленной жидкости осуществляется при помощи цилиндрического патрубка вход, в который располагается в непосредственной близости к зоне концентрации сгущенного осадка. Данное расположение отводящих патрубков создает опасность попадания частиц загрязнения в зону отбора осветленной жидкости. Чтобы понизить вероятность попадания твердых частиц в зону отбора осветленной жидкости, необходимо понизить скорость всасывания осветленной жидкости. Для решения данного вопроса мы

предлагаем изменить форму всасывающей части отводящих патрубков и выполнить их в форме воронки (2) (смотреть рисунок 5).

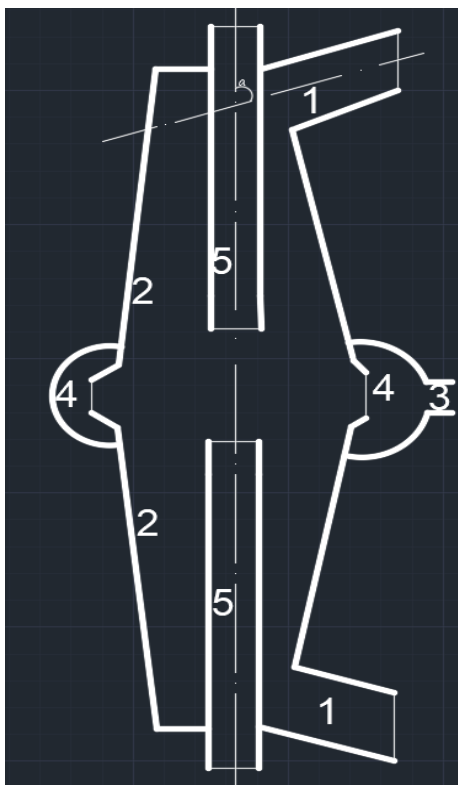


Рисунок 4. Схема биконического гидроциклона с подводными под углом к продольной оси патрубками (составлено авторами)

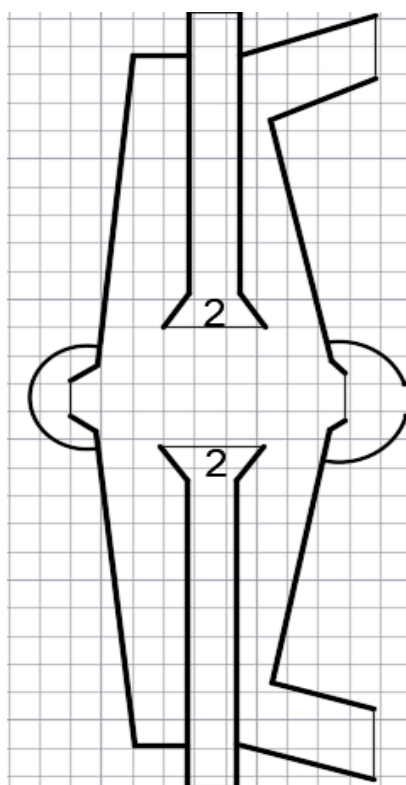


Рисунок 5. Схема биконического гидроциклона с расширенными отводящими патрубками (составлено авторами)

Глубина погружения всасывающей воронки (2) в область отбора осветленной жидкости может быть установлена в результате эксперимента. В работе [21] исследовано влияния площадей сечения подводящих и отводящих патрубков на качество разделения суспензий, и даны рекомендации по подбору наиболее эффективных размеров. Но данные рекомендации подходят только для гидроциклонов с традиционной конструкцией, в которых происходит сужение конической части к выходному отверстию. Так как конструкция биконического гидроциклона коренным образом отличается от традиционного конического сужающегося гидроциклона, соотношения параметров сечения входных и выходных патрубков на данный момент не установлены. Они будут установлены опытным путем.

Заключение

1. В данной статье была показана не совершенность конструкций традиционных гидроциклонов. Анализируя работу традиционных гидроциклонов (конических сужающихся), в виде недостатка можно подчеркнуть зависимость качества разделения суспензий от расположения продольной оси гидроциклона к горизонту.

2. Так же была представлена совершенно новая модель биконического гидроциклона, отличающаяся от традиционных гидроциклонов своей конструкцией. Предлагаемая конструкция двух конических гидроциклонов, соединенных широкими частями, отличаются отсутствием данного недостатка за счет более удачного сложения векторов сил тяжести и инерции, действующих на твердую частицу. Кроме того, устройство питающего патрубка под некоторым углом к продольной оси гидроциклона будет способствовать более быстрому продвижению осадка в направлении к спиралевидной щели, предназначенной для вывода осадка за пределы гидроциклона, что должно способствовать увеличению производительности разделения суспензий. А изменение конфигурации всасывающей части патрубка, для отвода осветленной жидкости, позволит понизить скорость процесса всасывания, что понизит вероятность попадания мелкодисперсных частиц из близ расположенной зоны накопления осадка, и повысит качество осветленного продукта.

В дальнейшем будут проводиться экспериментальные исследования с данной моделью биконического гидроциклона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макачук Г.В., Лазарева Т.П., Прохоров А.Г., Коляда Д.А. Вода и здоровье. Наноматериалы в процессах очистки воды // Актуальные проблемы военно-научных исследований 2020. 189–199.
2. Московский В.С., Хачирова А.Ю., Проблемы современной экологии // Юный ученый. – 2016. – №1. – С. 59–70.
3. А.Г. Лаптев, М.И. Фарахов, М.М. Башаров и др. Энерго- и ресурсосберегающие технологии и аппараты очистки жидкостей в нефтехимии и энергетике // Инженерно-внедрческий центр “Инжехим” (Инженерная химия). Отчество Казань 2012.
4. Серебренникова М.К., Тудвасева М.С., Куюкина М.С. Биологические способы очистки нефтезагрязненных сточных вод (обзор) // Вестник Пермского университета. 2015.

5. Убайдуллаева А.К., Байтурсинов К.К., Асанова Г.Н., Мустафаева А.А. Methods of purification of drinking water from nitrates by microorganisms // Вестник Казахского Национального медицинского университета. 2018.
6. Лепеш Г.В., Панасюк А.С., Чурилин А.С. Современные методы очистки сточных вод промышленных предприятий // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2016.
7. Апасов Р.Т., Шошаева З.А. Способы защиты от механических примесей в добываемой жидкости // Инновации в науке: научный журнал. – № 1(62). – Новосибирск., Изд. АНС «СибАК», 2017. – С. 86–88.
8. Иванов М. Гидроциклоны в водоподготовке // Издательский центр Акватерм. 2008.
9. Михаил Иванов Отстойники в очистных системах // Коммунальный комплекс России.
10. Игорь Левин Конструкции вертикальных песколовков и общие недостатки установок традиционного типа. 2015.
11. Ахсанов Р.Р., Применение гидроциклонирования для интенсификации комплексной подготовки нефти в промысловых условиях. 2002.
12. Костиловский В.А., Интенсификация процессов разделения продукции скважин и очистки ее компонентов. 2009.
13. М.М. Башаров, О.А. Сергеева Устройство и расчет гидроциклонов. Учебное пособие под редакцией А.Г. Лаптева. – Казань. 2012.
14. Wang Wei, Yu Jiu-yang, Zheng Xiao-tao, Lu Xia, Lin Wei A New Method for Predicting the Hydrocyclone Efficiency with the Light Dispersed Phase // Energy Procedia. Vol. 105. 2017. P. 4428–4435.
15. Fuping Qian, Jiguang Zhang, Mingyao Zhang Effects of the prolonged vertical tube on the separation performance of a cyclone // Journal of Hazardous Materials. Vol. 136. 2006. P. 822–829.
16. D. Wolbert, B. Ma, Y. Aurelle Efficiency estimation of liquid-liquid hydrocyclones using trajectories analysis [J]. AICHE J., 41 (1995), pp. 1395–1402.
17. Sina Amini, Dariush Mowla, Mahdi Golkar Developing a new approach for evaluating a deoiling hydrocyclone efficiency // Desalination. Vol. 285. 2012. P. 131–137.
18. D. Kelsall a Study of the Motion of Solid Particles in a Hydraulic Cyclone Trans. Chem. Engrs., 30 (1954), pp. 87–108.
19. Высоцкий Л.И., Изюмов Ю.А., Черненко Ю.В. К вопросу о конструктивном оформлении гидроциклонов для очистки стоков автомоечных станций // Совершенствование методов гидравлических расчетов водопропускных и очистных сооружений. Том 1. 2018. С. 4–9.
20. Высоцкий Л.И., Высоцкий И.С., Изюмов Ю.А., Черненко Ю.В. Особенности конструкций биконических гидроциклонов // Совершенствование методов гидравлических расчетов водопропускных и очистных сооружений. Том 1. 2019. 69–74.
21. Р.Н. Шестов Гидроциклоны // Машиностроение Ленинград 1967.

Vysotsky Lev Ilyich

E-mail: vysotli@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4539-2557>

Izyumov Yuri Anatolyevich

Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Saratov, Russia

E-mail: izyumovya@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2872-5700>

РИИЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=599530

Vysotsky Ilya Sergeyev

E-mail: Vysotskyis@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6979-4513>

Chernenko Yuri Viktorovich

Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Saratov, Russia

E-mail: Zevs_1234@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2948-6094>

РИИЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=938567

Improving the design of the inlet and outlet nozzles of a biconical hydrocyclone

Abstract. Mechanical cleaning of liquids from contamination is an integral part of most technological water treatment schemes. The choice of technology and cleaning mechanism depends on the type of contamination and the desired final cleaning result. This article is devoted to the issue of improving the quality of fluid purification using hydrocyclones. There are many different hydrocyclone designs, most of which are tapered converging. However, all of them are endowed with one design flaw, which prevents the movement of solid particles to the outlet, and thereby reduces the productivity of the separation process. To correct this drawback, in this article we propose a biconical hydrocyclone design that has no analogues (with expanding cones, the wide bases of which are connected by a spiral channel for removing suspended matter). In addition, the proposed variant of the arrangement of the supply pipes is not normal to the longitudinal axis, but at a certain angle, which gives certain advantages. To improve the conditions for withdrawing the clarified liquid, a new design of the inlet part of the tube for removing the clarified liquid is proposed. The design of the hydrocyclone offered by us will increase the productivity of the hydrocyclones. Experiments are currently underway with this model, the results of which will be published later. In conclusion, we can say that the article presents a completely new model of biconical hydrocyclones. These changes in hydrocyclones will change the existing approach to the design of hydrocyclones, and will also increase the productivity of hydrocyclones.

Keywords: hydrocyclone; liquid; purification; performance; pollution; design changes; solid particles