

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

2020, №1, Том 12 / 2020, No 1, Vol 12 <https://esj.today/issue-1-2020.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/46SAVN120.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Черненко Ю.В., Изюмов Ю.А., Высоцкий Л.И. Механическая очистка жидкостей при помощи биконических гидроциклонов // Вестник Евразийской науки, 2020 №1, <https://esj.today/PDF/46SAVN120.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Chernenko Yu.V., Izyumov Yu.A., Vysotsky L.I. (2020). Mechanical cleaning of liquids using biconical hydrocyclones. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 1(12). Available at: <https://esj.today/PDF/46SAVN120.pdf> (in Russian)

УДК 66.066.4:621.928.3

Черненко Юрий Викторович

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

E-mail: Zevs_1234@mail.ru

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

Изюмов Юрий Анатольевич

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

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: izyumovya@mail.ru

Высоцкий Лев Ильич

Доктор технических наук, профессор

E-mail: vysotli@yandex.ru

Механическая очистка жидкостей при помощи биконических гидроциклонов

Аннотация. Процесс очистки жидкостей подразумевает химическую, биологическую, механическую обработку. Механическая обработка представляет собой выделение из жидкости твердых включений. Это могут быть минеральные, органические и металлические частицы. Для механической обработки, в каждом конкретном случае, применяются соответствующие агрегаты. Особую привлекательность представляют агрегаты, обладающие компактностью, высокой производительностью, достаточным качеством очистки, простотой обслуживания и соответственно низкой себестоимостью одного кубометра очищенной жидкости. К таким агрегатам можно отнести гидроциклоны. Процесс выделения твердых частиц в гидроциклонах происходит под действием сил тяжести и инерции. Конструктивно существующие гидроциклоны устроены так, что эти силы не способствуют улучшению качества очистки, а, наоборот, препятствуют. Поэтому актуальным является создание такой конструкции гидроциклона, где эти силы работали бы не во вред друг другу, а во благо. В статье рассматривается совершенно новая конструкция гидроциклона, позволяющая более рационально использовать силы, действующие на твердую частицу. Эта конструкция биконического (двухкорпусного) гидроциклона. Отличие от традиционного заключается в том, что совсем исключена цилиндрическая часть. Оба корпуса соединены друг с другом широкими основаниями конусов. Преимуществом является то, что при больших числах Фруда ($Fr > 100$) угол наклона продольной оси, относительно горизонта, не влияет на процесс разделения. Кроме того, биконический гидроциклон имеет оригинальную конструкцию разгрузочной части.

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

Введение

Вопросу очистки жидкостей от загрязнений всегда уделяют большое внимание. Связанно это с тем, что очищенная жидкость может быть вторично использована для хозяйственных, бытовых нужд и на многих производственных предприятиях. Загрязнения жидкостей могут быть биологическими, химическими, механическими и другими [1; 2]. В зависимости от этого выбирают способ очистки от загрязнений.

В работе [3] рассмотрена оптимизация конструкции малых гидроциклонов с помощью использования CFD моделирования и 3D печати. В работе [4] была рассмотрена математическая модель процесса в системе твердое – жидкое тело в батарее гидроциклонов, а также был предложен алгоритм расчета. Исследование влияния диаметра питающего парубка гидроциклонного сепаратора на производительность было проведено в работе [5]. В работе [6] было исследовано внутреннее поле скоростей потока и определен диапазон скорости для гидроразрыва. В работе [7] было проведено исследование по повышению эффективности разделения частиц с помощью установки дополнительного конуса в верхнюю часть гидроциклона.

В данной статье рассмотрены существующие конструктивные недостатки традиционных гидроциклонов, а также предложена совершенно новая модель гидроциклона, способная увеличить производительность работы.

Обзор основных способов механической очистки

Существует большое количество способов очистки жидкостей от механических загрязнений.

Фильтры. Фильтрация это процесс, в ходе которого происходит разделение суспензий и эмульсий. Данный способ применяется для очистки жидкости от загрязнений, прошедших физико-химическую очистку [8].

Отстойники. Процесс разделения фаз происходит путем осаждения твердых частиц под действием силы тяжести. В зависимости от принципа работы они могут быть следующих типов: радиальными, горизонтальными и вертикальными [9].

Песколовки. Песколовки применяются на предварительных стадиях очистки. С их помощью удаляются загрязнения размером от 0,15 до 0,25 мм. Песколовки могут быть вертикальными, горизонтальными и с вращательным движением жидкости [10].

Гидроциклоны. Гидроциклон представляет собой аппарат, предназначенный для очистки жидкостей от механических загрязнений под действием центробежных сил и сил тяжести [11; 12]. Гидроциклоны подразделяются на:

Конические, которые в свою очередь отличаются друг от друга:

- количеством выдаваемых продуктов;
- способом установки;
- углом конусности конической части и другими различиями.

Винтовые, отличающиеся конструкцией направляющего устройства.

Батарейные, отличающиеся числом циклонов в батарее.

Турбоциклоны, отличающиеся от обычных гидроциклонов наличием внутри корпуса турбинки [13].

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 [14].

Конструкция и процесс работы гидроциклонов

Традиционно гидроциклон состоит из цилиндрической и конической частей. Диаметр гидроциклона может колебаться в широком диапазоне. В зависимости от размера гидроциклона и напора подаваемой жидкости, гидроциклон способен очищать жидкость от механических загрязнений размером от нескольких сантиметров до 5 микрон.

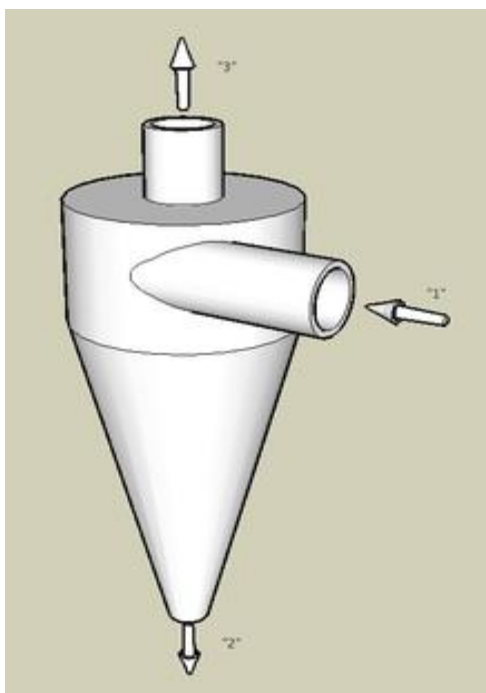


Рисунок 1. Конусный гидроциклон (рисунок с ru.wikipedia.org/wiki/Гидроциклон)

Процесс очистки в гидроциклоне происходит следующим образом. Очищаемая жидкость подается с помощью подводящего патрубка (1) под напором тангенциально к оси гидроциклона и поступает в цилиндрическую часть, приобретая круговое движение. В процессе работы гидроциклона на частицы действуют две основные силы: центробежная и сила тяжести. Под действием центробежных сил вблизи оси гидроциклона возникает воздушный столб, являющийся следствием разрыва сплошности жидкой среды [15; 16]. Под действием той же центробежной силы твердые частицы отбрасываются к стенкам гидроциклона, а под действием силы тяжести опускаются в нижнюю часть по спиралевидной траектории к выпускному отверстию. Откуда через насадку (2) отводятся из гидроциклона. Осветленная жидкость, как более легкая фаза, движется по внутренней поверхности воздушного столба вертикально вверх по направлению к отводящему патрубку (3), и отводится за пределы гидроциклона [17].

Недостатки существующих конструктивных особенностей гидроциклонов

Недостатком существующих гидроциклонов является нелогичность самой конструкции. Во всех вышеперечисленных гидроциклонах, традиционной конструкции с сужающейся к выходному отверстию конической частью, на тяжелые частицы действует компонента центробежной силы, не способствующая, а, наоборот, препятствующая действию силы тяжести и продвижению частиц к сливу.

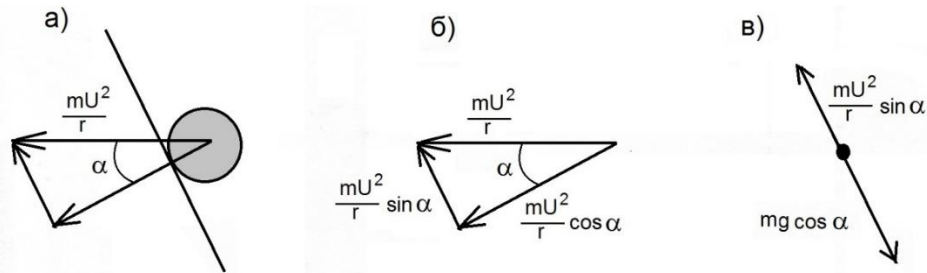


Рисунок 2. Схема сил, действующих на тяжелую частицу:
а) у боковой стенки гидроциклона; б) компоненты центробежной силы;
в) суммарная сила, действующая на частицу (составлено авторами)

Как видно из рисунка 2в расклад сил способствует ухудшению процесса продвижения частицы к выходному отверстию гидроциклона, что заставляет принимать угол сужения конической части не более 6° – 10° [19].

В работе [18] мы показали, что частица будет двигаться в направлении образующей конической части гидроциклона под действием суммы проекций на это направление указанных сил (смотреть рисунок 2в). Она равна

$$R = mg \cos \alpha - \frac{mU^2}{r} \sin \alpha \quad (1)$$

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

$$R > 0 \text{ или } mg \cos \alpha > \frac{mU^2}{r} \sin \alpha \text{ или } \frac{U^2}{r} < g / \operatorname{tg} \alpha$$

Отсюда

$$\operatorname{tg} \alpha < \frac{gr}{U^2} = \frac{1}{Fr_r} \quad (2)$$

где $Fr_r = \frac{U^2}{gr}$ – число Фруда.

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

$$\operatorname{tg} \alpha < \frac{1}{Fr_r} = \frac{gr}{U^2} \quad (3)$$

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

$$\operatorname{tg} \alpha < \frac{9.81 * 0.1}{25} \approx 0.04, \quad \alpha \cong 2^{\circ}, \quad (4)$$

то есть, угол конусности должен быть менее 2^0 . Изложенное в известной мере подтверждается формой конструкций выпускаемых промышленностью гидроциклонов. Примером может служить гидроциклон ГЦ-170 (смотреть рисунок 3).



Рисунок 3. Гидроциклон-170 [18]

Для устранения данного недостатка предлагается конструкция, в которой традиционно сужающаяся коническая часть заменена, наоборот, – расширяющейся частью, что позволит использовать центробежные силы не во вред, как в существующих гидроциклонах, а с полезным воздействием на выводимые частицы (смотреть рисунок 4).

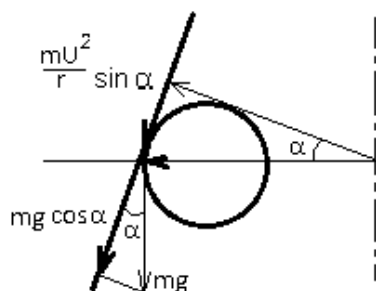


Рисунок 4. Распределение сил в расширяющейся конической части гидроциклона [20]

Изменение конструкции гидроциклона с сужающегося на расширяющийся конус позволит повысить производительность работы гидроциклона в случае соединения двух конических гидроциклонов широкими основаниями. Предлагается совершенно новая конструкция биконического гидроциклона, не имеющий аналогов. Данный гидроциклон представлен на рисунке 5.

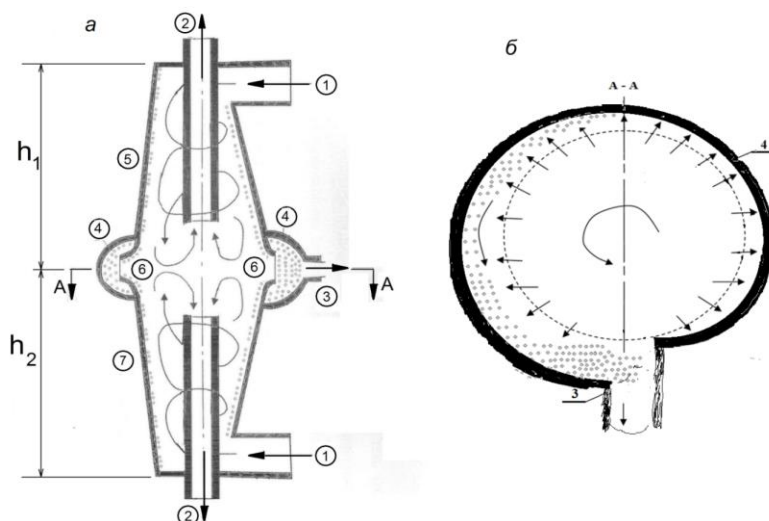


Рисунок 5. Схема биконического гидроциклона: а) продольный разрез по оси гидроциклона; б) спиралевидный канал гидроциклона (составлено авторами)

Данный биконический гидроциклон состоит из двух конусов (5) и (7), которые располагаются на одной оси и обращены широкими основаниями друг к другу. К узкой части биконического гидроциклона тангенциально присоединены питающие патрубки (1), через которые в гидроциклон поступает очищаемая жидкость. Между широкими частями конусов образованно пространство для прохождения взвеси (6). В данном гидроциклоне присутствует приемник, который представляет собой спиралевидный канал (4), соединяющий основания данных конусов, и с помощью которого выделенные загрязнения удаляются из корпуса гидроциклона. По патрубкам (2), вмонтированные в торцевые части конусов (5) и (7), очищенная жидкость выводится из гидроциклона.

Конструкция данного гидроциклона приведет к существенному увеличению производительности очистки и конструктивно упростит аппарат (при сохранении положительного вклада центробежных сил в процесс выделения примеси из жидкости).

Оригинальным конструктивным элементом является система отвода осадков, позволяющая качественно производить освобождение агрегата от выделенной взвеси.

Чтобы увеличить скорость продвижения отделяемых частиц по спиральной траектории к выходному отверстию предлагается устанавливать питающие патрубки не перпендикулярно к оси гидроциклона, а под некоторым углом.

В работе [18] мы показали, что при больших числах Фруда (примерно при $Fr > 100$), ось данного биконического гидроциклона можно располагать под произвольным углом к горизонту (от 0° до 90°), а так же высоту обоих конусов принимать одинаковой.

Процесс очистки жидкости в биконическом гидроциклоне будет происходить следующим образом. Очищаемая жидкость поступает в гидроциклон через два питающих патрубков, присоединенных к узкой части агрегата тангенциально и приобретает круговое движение. Тяжелые частицы отбрасываются к периферии и скользят по стенкам конусов к сливной щели (6), чему способствует компонента центробежной силы из-за расширяющейся формы конусов (5) и (7). В результате выделяемые частицы скапливаются в спиралевидном канале (4). По мере накопления выделяемой фракции в канале (4), она отводится через отверстие (3). Осветленная жидкость, в свою очередь, отводится с помощью отводных патрубков (2).

Выводы

В результате, при использовании агрегата, состоящего из двух расширяющихся конусов, соединенных широкими основаниями, повышается производительность очистки жидкости вследствие получения суммарного воздействия на твердую частицу сил тяжести и инерции. Преимуществом является то, что при больших числах Фруда ($Fr > 100$) угол наклона продольной оси, относительно горизонта, не влияет на процесс разделения. Кроме того, биконический гидроциклон имеет оригинальную конструкцию разгрузочной части.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гудков А.Г. Механическая очистка сточных вод. Учебное пособие // Инфраинженерия 2019.
2. Яковлев С.В. Механическая очистка сточных вод / Яковлев С.В., Калицун В.И. – Москва: Стройиздат, 1972.
3. D. Vega-Garcia, P.R. Brito-Parada, J.J. Cilliers Optimising small hydrocyclone design using 3D printing and CFD simulations // Chemical Engineering Journal.

4. M. Lamskova, M. Filimonov, A. Novikov, L. Samofalova and S. Pavlova Modeling of the separation for system the liquid – solid in the battery of hydrocyclones // Journal of Physics Conference Series (J Phys Conf).
5. Luis G.M. Vieira Danilo O. Silva Marcos A.S Barroso Effect of Inlet Diameter on the Performance of a Filtering Hydrocyclone Separator // Chemical Engineering & Technology. Vol 9. №8. 2016. P. 1349–1579.
6. Bing Liu, Huajian Wang, Luncao Li, Zhenjiang Zhao, Liping Xu, and Jianliang Xue Study of GLR and Inlet Velocity on Hydrocyclone for Fracturing Flow-Back Fluids // Mathematical Problems in Engineering Vol. 2019.
7. K.-J. Hwang, Y.-W. Hwang, H. Yoshida, K. Shigemori, Improvement of particle separation efficiency by installing conical top-plate in hydrocyclone, Pow. Tech., 232 (2012) 41–48.
8. Кривошеин Д.А., Кукин П.П., Лапин В.Л. Инженерная защита поверхностных вод от промышленных стоков // учебное пособие для вузов / Д.А. Кривошеин [и др.]. – Москва: Высш. шк., 2003.
9. Ю.В. Воронов, А.Л. Ивчатов Учебное пособие для студентов заочного отделения факультета “Водоснабжение и Водоотведение” // Издательство Ассоциации строительных вузов Москва, 2008.
10. А.Г. Гудков Механическая очистка сточных вод // Москва Вологда “Инфра-Инженерия” 2019.
11. Б.И. Мубаракшин, И.Т. Хуснутдинов, В.И. Петров Анализ выбора конструкций гидроциклонов для очистки сточных вод // Вестник Казанского технологического университета 2013.
12. J.J. Cilliers Hydrocyclones for Particle Size Separation // Encyclopedia of Separation Science 2000. P. 1819–1825.
13. Р.Н. Шевцов Гидроциклоны // Машиностроение Ленинград 1967.
14. М.М. Башаров, О.А. Сергеева Устройство и расчет гидроциклонов. Учебное пособие под редакцией А.Г. Лаптева. – Казань. 2012.
15. О.Н. Шагарова Энергетическая характеристика гидроциклона // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) 2010.
16. Кочетов Л.М., Сажин Б.С., Сажина М.Б., Тюрин М.П., Попов И.А., Сажин В.Б., Гидродинамическая модель открытого гидроциклона // Успехи в химии и химических технологиях 2012.
17. Скирдов И.В., Пономарев В.Г. Очистка сточных вод в гидроциклонах // Стройиздат. – Москва. 1975.
18. Высоцкий Л.И., Викторов И.В., Бутенко П.Н. Новый подход к конструированию центробежных аппаратов для очистки жидкостей // Техническое регулирование в транспортном строительстве. №2 (22) 2017.
19. Л.И. Высоцкий, И.С. Высоцкий, Ю.А. Изюмов, Ю.В. Черненко Особенности конструкций биконических гидроциклонов // Совершенствование методов гидравлических расчетов водопропускных и очистных сооружений, том 1(44), (2019) 69–74.
20. Высоцкий Л.И., Ю.А. Изюмов, Ю.В. Черненко К вопросу о конструктивном оформлении гидроциклонов для очистки стоков автомоечных станций // Совершенствование методов гидравлических расчетов водопропускных и очистных сооружений, том 1(43), (2018) 4–9.

Chernenko Yuri Viktorovich

Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Saratov, Russia
E-mail: Zevs_1234@mail.ru

Izyumov Yuri Anatolyevich

Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Saratov, Russia
E-mail: izyumovya@mail.ru

Vysotsky Lev Ilyich

E-mail: vysotli@yandex.ru

Mechanical cleaning of liquids using biconical hydrocyclones

Abstract. The process for purification of liquids involves chemical, biological, and mechanical processing. Machining is a selection of fluid solids. It can be mineral, organic and metal particles. For mechanical treatment, in each case, apply the appropriate units. A special attraction represent aggregates with a compact structure, high productivity, sufficient quality of cleaning, ease of maintenance and therefore low cost of one cubic meter of treated liquid. Such units include hydrocyclones. The process of separation of solid particles in hydrocyclones takes place under the action of gravity and inertia. Structurally, the existing hydrocyclones are arranged so that these forces do not contribute to improving the quality of treatment, but, on the contrary, hinder. Consequently, it is important the creation of this design of the hydrocyclone, where these forces worked would not harm each other, and for good. The article discusses a completely new design of the hydrocyclone, which allows more efficient use of the forces acting on a solid particle. This design biconical (two-body) of the hydrocyclone. Opposed to traditional is that completely excluded the cylindrical part. Both buildings are connected with each other broad bases of the cones. The advantage is that at high Froude numbers ($Fr > 100$) the angle of inclination of the longitudinal axis relative to the horizon, does not affect the separation process. In addition biconical hydrocyclone has an original design of the unloading section.

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