

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

2021, №1, Том 13 / 2021, No 1, Vol 13 <https://esj.today/issue-1-2021.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/09SAVN121.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Высоцкий Л.И., Изюмов Ю.А., Черненко Ю.В., Высоцкий И.С. Экспериментальные исследования работы биконических гидроциклонов улучшенной конструкции // Вестник Евразийской науки, 2021 №1, <https://esj.today/PDF/09SAVN121.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Vysotsky L.I., Izyumov Yu.A., Chernenko Yu.V., Vysotsky I.S. (2021). Experimental studies of improved design biconical hydrocyclones. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 1(13). Available at: <https://esj.today/PDF/09SAVN121.pdf> (in Russian)

УДК 66.066.4:621.928.3

**Высоцкий Лев Ильич**

Доктор технических наук, профессор

E-mail: [vysotli@yandex.ru](mailto: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](mailto:izyumovya@mail.ru)

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

РИНЦ: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=599530](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=599530)

**Черненко Юрий Викторович**

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

Аспирант

E-mail: [Zevs\\_1234@mail.ru](mailto:Zevs_1234@mail.ru)

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

РИНЦ: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=938567](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=938567)

**Высоцкий Илья Сергеевич**

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: [Vysotskyis@mail.ru](mailto:Vysotskyis@mail.ru)

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

## Экспериментальные исследования работы биконических гидроциклонов улучшенной конструкции

**Аннотация.** Механическая очистка жидкостей от загрязнений является неотъемлемой частью большинства технологических схем водоподготовки. Выбор технологии и механизма очистки жидкости 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, авторы в ранее изданных работах предложили биконические гидроциклоны, которые не имеют аналогов (с расширяющимися конусами, широкие основания которых соединены спиралевидным каналом для отвода взвеси). Кроме того, был предложен

вариант расположения питающих патрубков не нормально к продольной оси, а под некоторым углом, что дает определенные преимущества. В данной статье описывается работа традиционных гидроциклонов, недостатки их конструкции, а также представлены новые модели гидроциклонов. Авторами представлены результаты экспериментальных исследований с предложенными ранее биконическими гидроциклонами. Эксперименты были проведены на трех разных моделях биконических гидроциклонов, расположенных горизонтально, и полученные данные имеют удовлетворяющий результат. Использование данных биконических гидроциклонов возможно на очистных станциях, для очистки стоков автомоек и так далее. Данные усовершенствования конструкции гидроциклонов изменят существующий подход к конструктивной составляющей гидроциклонов.

В заключение хотелось бы сказать, что все исследования проводились в рамках диссертационной работы, а также в дальнейшем будут проводиться эксперименты с данными гидроциклонами расположенными вертикально, их результаты будут опубликованы позже. Работы по созданию новых моделей биконических гидроциклонов продолжаются.

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

### Введение

Очистка воды от загрязнений необходима в современных условиях, не только потому, что в некоторых регионах существуют проблема с запасами водных ресурсов, но и потому, что очищенная жидкость может повторно применяться в промышленности, в хозяйственных и бытовых нуждах. В связи с этим необходимо качественно очищать загрязненную воду. Существует большое количество способов очистки жидкости от загрязнений. Так как загрязнения жидкости могут быть различными (химические, биологические, механические и так далее [1; 2]), применяют различные методы очистки жидкости, которые наилучшим образом подходят для различных типов загрязнения [3–6]. В данной статье рассмотрим очистку жидкости от механических загрязнений. Для этих целей можно использовать песколовки, отстойники, которые в свою очередь могут быть горизонтальными, вертикальными, радиальными, также сепараторы, центрифуги с фильтрующими лопастями, гидроциклоны и так далее. Гидроциклоны получили широкое 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 объединения нескольких гидроциклонов в один большой комплекс – мультигидроциклон. Гидроциклоны могут использоваться на станциях очистки в металлургической, машиностроительной, угольной, нефтедобывающей промышленности, а также при очистке сточных вод на автомойках. В зависимости от размеров гидроциклона, напора подаваемой жидкости, агрегат способен очистить жидкость от твердых частиц размером от нескольких сантиметров до 5 микрон.

Гидроциклон представляет собой аппарат, для очистки жидкости от механических загрязнений (продуктов флотации, шламов). Гидроциклон может быть различных размеров от нескольких сантиметров, до нескольких метров. Наиболее широкое применение приобрел цилиндроконический гидроциклон.

Данный гидроциклон состоит из конической и цилиндрической частей. Традиционно гидроциклон устанавливают вертикально (узкая часть конуса направлена вниз). Также, он может быть расположен наклонно и горизонтально.



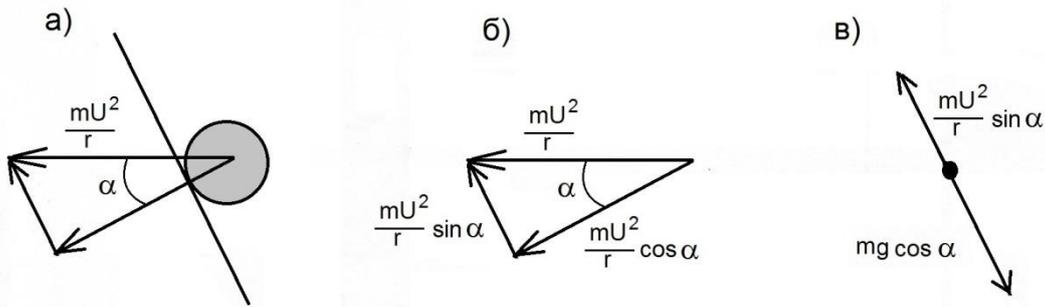
**Рисунок 1.** Цилиндрикоконический гидроциклон  
(рисунок с <http://www.promek-ural.ru/catalogue/gidrotsiklon-gts-500>)

Процесс очистки жидкости в гидроциклонах происходит следующим образом. Очищаемый продукт (загрязненная жидкость) под давлением подают в гидроциклон через питающие (входные) патрубки по касательной, вследствие чего очищаемая жидкость приобретает вращающееся (круговое) движение. При этом возникают большие центробежные силы, которые в десятки и сотни раз превышают силу тяжести. Под действием центробежных сил наиболее тяжелые частицы отбрасываются к периферии (к внутренним стенкам) гидроциклона от его оси, и по спиральной траектории опускаются вниз под действием силы тяжести и отводятся через нижнюю насадку для отвода нижнего продукта. Более легкая фаза движется во внутреннем потоке перпендикулярно вверх, и отводится через верхний отводящий патрубок для осветленной жидкости. При работе гидроциклона, вдоль продольной оси возникает воздушный столб. Данный воздушный столб имеет большое значение для вывода осветленной жидкости из корпуса гидроциклона. Причина его образования – это разрыв сплошности потока жидкости из-за большой величины центробежной силы вблизи оси гидроциклона и выделения воздуха из воды в результате интенсивного вихреобразования.

В работе [7] было проведено исследование движения твердых частиц в коническом сходящемся циклоне.

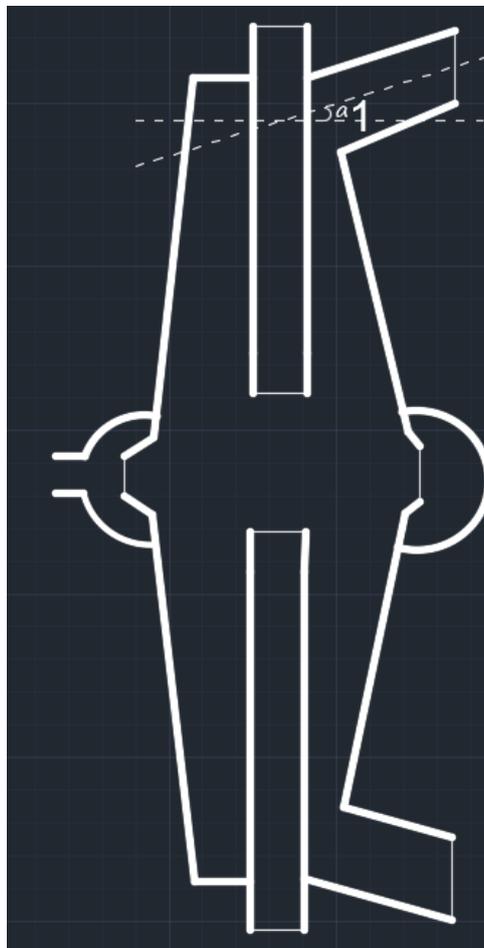
В работе [8] показана нелогичность конструкции традиционных конически сходящихся гидроциклонов. Исходя из данных, представленных в работе [8], можно сказать, что нелогичность конструкции указанных гидроциклонов связана с тем, что основные силы, действующие в процессе работы гидроциклона, а именно, сила тяжести и центробежная сила, направлены навстречу друг другу, что не способствует, а, наоборот, препятствует продвижению твердых частиц к сливу, как показано на рисунке 2.

В работе [9] представлена совершенно новая модель гидроциклона – **биконический гидроциклон**, способный повысить производительность очистки при работе агрегата. Достигается это за счет изменения конструкции гидроциклона. Данные изменения конструкции гидроциклона позволяют 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.



**Рисунок 2.** Схема сил, действующих на тяжелую частицу:  
а) у боковой стенки гидроциклона; б) компоненты центробежной силы;  
в) суммарная сила, действующая на частицу [8]

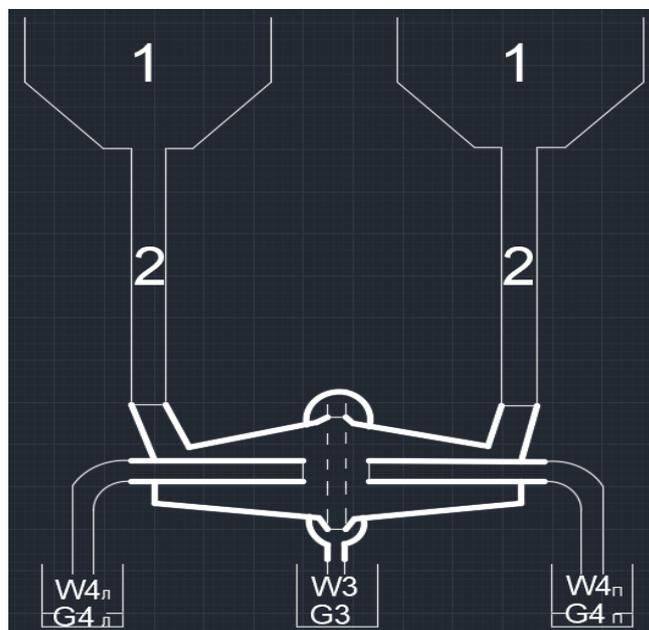
Также, в работе [10] предложена новая модель биконического гидроциклона (рисунок 3), которая исправила некоторые недостатки предшествующей модели. То есть, в предыдущей модели питающие патрубки подведены нормально (перпендикулярно) к оси гидроциклона. Это приводит к тому, что поступающая через питающие патрубки жидкость, делая один оборот, врезается сама в себя, создавая некоторые затруднения продвижения твердых частиц к отводящей спиралевидной щели, снижая качество разделения и производительность гидроциклона. Для устранения данного недостатка предлагается изменить конструкцию входного патрубка гидроциклона, то есть подвести исходный поток не перпендикулярно, а под некоторым углом  $\alpha$  к продольной оси гидроциклона.



**Рисунок 3.** Схема биконического гидроциклона с подводными под углом к продольной оси патрубками (составлено авторами)

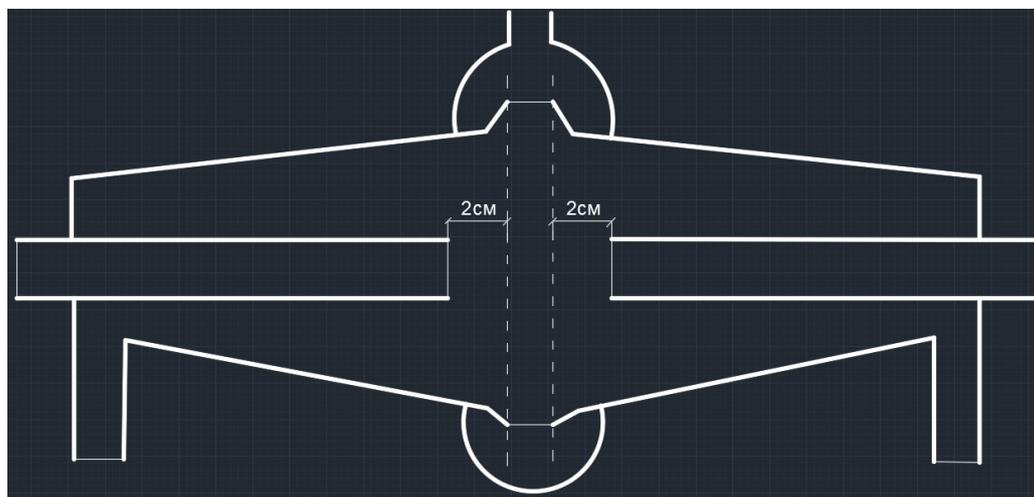
Были проведены экспериментальные исследования с указанными выше моделями [9; 10]. В данной статье представлены результаты проведенных экспериментов.

Экспериментальная установка показана на рисунке 4. Две емкости (1) с исходной смесью были расположены на высоте 10 метров, соединены с гидроциклоном с помощью шлангов (2). В установке присутствуют емкости для приёма осветленной жидкости ( $W_{4л}$ ,  $W_{4п}$ ,  $G_{4л}$ ,  $G_{4п}$ ) и емкости для приема сгущенного продукта ( $W_3$ ,  $G_3$ ).



*Рисунок 4. Схема экспериментальной установки биконического гидроциклона (составлено авторами)*

Первый эксперимент был проведен с биконическим гидроциклоном с нормально (перпендикулярно) расположенными подводными патрубками. Отступ отводящих патрубков для осветленной воды, от центра гидроциклона – 2 см (смотреть рисунок 5). Исследования были проведены при горизонтальном положении гидроциклона. Две емкости жидкости объемом по 2 литра, с размешанным песком, по 200 г в каждой, были расположены на высоте 10 метров. Опыты проводились с тремя разными фракциями песка:  $0,63 \div 1,25$ ;  $0,315 \div 0,62$ ;  $0,16 \div 0,314$  мм.



*Рисунок 5. Схема биконического гидроциклона с нормально подводными патрубками (составлено авторами)*

Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Результаты экспериментальных исследований  
биконического гидроциклона с нормально подводщими патрубками**

| Размер фракций (песка), мм | Объем жидкости в емкостях для осветленной жидкости, мл |                 | Объем жидкости в емкости для загрязненной жидкости, мл | Масса песка в емкостях для осветленной жидкости, граммы |                 | Масса песка в емкости для загрязненной жидкости, граммы | Процент содержания песка в емкостях для осветленной жидкости, % | Процент содержания песка в емкости для загрязненной жидкости, % |
|----------------------------|--|-----------------|--|---|-----------------|---|---|---|
|                            | W <sub>4л</sub>  | W <sub>4п</sub> | W <sub>3</sub>   | G <sub>4л</sub>   | G <sub>4п</sub> |   |   |   |
| 0,16 ÷ 0,314               | 535  | 550             | 2915   | 21,78   | 21,83           | 189,4   | 18,7  | 81,3  |
| 0,315 ÷ 0,62               | 580  | 580             | 2840   | 21,18   | 29,12           | 333,8   | 13  | 87  |
| 0,63 ÷ 1,25                | 600  | 600             | 2800   | 22,1  | 22,8            | 309,3   | 12,2  | 87,8  |

Составлено авторами

Как видно из таблицы 1, показатель степени очистки жидкости от песка различных фракций составляет:

$$0,16 \div 0,314 - 81,3 \%,$$

$$0,315 \div 0,62 - 87 \%,$$

$$0,63 \div 1,25 - 87,8 \%.$$

Для выявления оптимальной схемы установки отводных патрубков (для осветленной жидкости) относительно центра гидроциклона, был изменен отступ с 2 см до 3 см. Также была понижена концентрация песка в исходных емкостях, и составила по 100 г на 2 л в каждой.

Биконический гидроциклон с одинаковыми коническими частями и нормально подводщими патрубками. Отступ отводящих патрубков для осветленной воды, от центра гидроциклона – 3 см. Исследования были произведены в горизонтальном положении гидроциклона. Две емкости жидкости объемом по 2 литра в каждой с размешанными фракциями песка, по 100 г в каждой, были расположены на высоте 10 метров. Исследования были проведены с тремя разными фракциями песка: 0,63 ÷ 1,25; 0,315 ÷ 0,62; 0,16 ÷ 0,314 мм. Результаты представлены в таблице 2.

Итоговые данные для второго эксперимента выглядят следующим образом.

Таблица 2

**Результаты экспериментальных исследований  
биконического гидроциклона с нормально подводщими патрубками**

| Размер фракций (песка), мм | Объем жидкости в емкостях для осветленной жидкости, мл |                 | Объем жидкости в емкости для загрязненной жидкости, мл | Масса песка в емкостях для осветленной жидкости, граммы |                 | Масса песка в емкости для загрязненной жидкости, граммы | Процент содержания песка в емкостях для осветленной жидкости, % | Процент содержания песка в емкости для загрязненной жидкости, % |
|----------------------------|--|-----------------|--|---|-----------------|---|---|---|
|                            | W <sub>4л</sub>  | W <sub>4п</sub> | W <sub>3</sub>   | G <sub>4л</sub>   | G <sub>4п</sub> |   |   |   |
| 0,16 ÷ 0,314               | 600  | 600             | 2800   | 14,25   | 17,61           | 153,32  | 17,2  | 82,8  |
| 0,315 ÷ 0,62               | 600  | 600             | 2800   | 7,38  | 7,5             | 123   | 10,8  | 89,2  |
| 0,63 ÷ 1,25                | 600  | 600             | 2800   | 10,5  | 11,9            | 187,6   | 11,94   | 88,05   |

Составлено авторами

Как видно из таблицы 2, показатель степени очистки жидкости от песка различных фракций составляет:

$$0,16 \div 0,314 - 82,8 \%,$$

$$0,315 \div 0,62 - 89,2 \%,$$

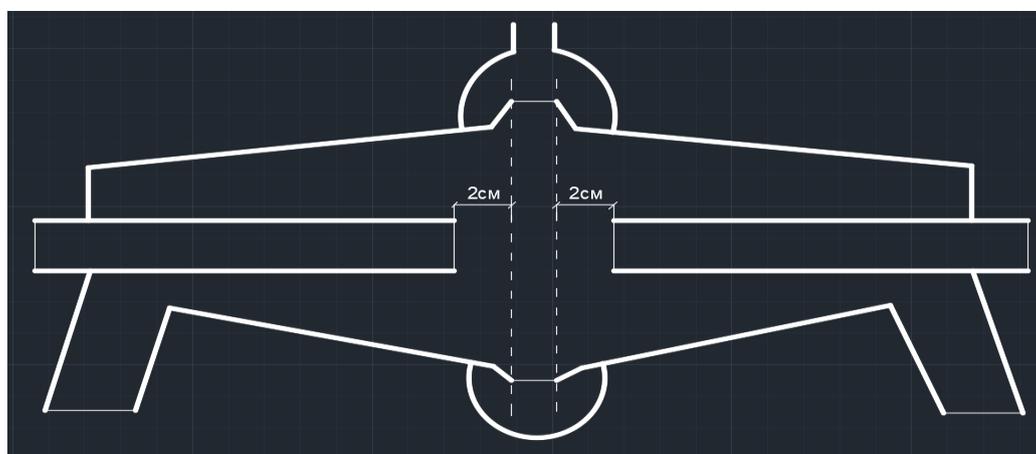
$$0,63 \div 1,25 - 88,05 \%.$$

При сравнении полученных результатов экспериментов видно, что степень очистки жидкости (по каждой фракции) во втором эксперименте выше, чем в первом.

Исходя из этого, при проведении дальнейших исследований будем использовать, как во втором эксперименте, отступ отводящих патрубков для осветленной воды от центра гидроциклона – 3 см, а концентрацию песка в исходных емкостях 100 г на 2 л жидкости.

В работе [10] показан недостаток модели с нормально расположенными входными патрубками.

Далее был проведен эксперимент уже с новым биконический гидроциклоном (смотреть рисунок 6), с одинаковыми коническими частями и наклонными подводящими патрубками (5 градусов). Отступ отводящих патрубков для осветленной воды от центра гидроциклона – 3 см. Исследования были произведены на горизонтально расположенном гидроциклоне. Две емкости жидкости объемом по 2 литра в каждой с размешанными фракциями песка, по 100 г в каждой были расположены на высоте 10 метров. Исследования проводились с тремя разными фракциями песка:  $0,63 \div 1,25$ ;  $0,315 \div 0,63$ ;  $0,16 \div 0,315$  мм.



**Рисунок 6.** Схема биконического гидроциклона с подводящими под углом к продольной оси патрубками (составлено авторами)

Результаты представлены в таблице 3.

**Таблица 3**

**Результаты экспериментальных исследований биконического гидроциклона с подводящими под углом к продольной оси патрубками**

| Размер фракций (песка), мм | Объем жидкости в емкостях для осветленной жидкости, мл |          | Объем жидкости в емкости для загрязненной жидкости, мл | Масса песка в емкостях для осветленной жидкости, граммы |          | Масса песка в емкости для загрязненной жидкости, граммы | Процент содержания песка в емкостях для осветленной жидкости, % | Процент содержания песка в емкости для загрязненной жидкости, % |
|----------------------------|--|----------|--|---|----------|---|---|---|
|                            | $W_{4л}$   | $W_{4п}$ | $W_3$  | $G_{4л}$  | $G_{4п}$ | $G_3$   |   |   |
| 0,16 ÷ 0,34                | 500  | 490      | 3010   | 10,3  | 8,65     | 156   | 10,8  | 89,2  |
| 0,315 ÷ 0,62               | 500  | 500      | 3000   | 9,1   | 6,58     | 153,1   | 9,29  | 90,71   |
| 0,63 ÷ 1,25                | 530  | 530      | 2940   | 8,77  | 14,4     | 166,2   | 12,2  | 87,8  |

Составлено авторами

Анализируя результаты из таблицы 3, видно, что степень очистки биконического гидроциклона с наклонными подводными патрубками, превышает степень очистки биконического гидроциклона с нормально подводными патрубками по каждому виду фракций песка.

Показатель степени очистки жидкости от песка различных фракций:

$$0,16 \div 0,314 - 89,2 \%,$$

$$0,315 \div 0,62 - 90,71 \%,$$

$$0,63 \div 1,25 - 87,8 \%.$$

### Выводы

1. В заключение хотелось бы сказать, что в данной статье представлена проблема (несовершенство конструкций) традиционных гидроциклонов. Вследствие этого показано решение данной проблемы (изменением конструкции гидроциклона). Представлены совершенно новые биконические гидроциклоны, не имеющие аналогов, а также результаты экспериментов с данными гидроциклонами.
2. Все представленные нами биконические гидроциклоны показали хорошие результаты. Степень очистки различных стандартных гидроциклонов колеблется от 80 % до 90 %. Степень очистки жидкости во всех экспериментах приближена к 90 %.
3. Биконический гидроциклон с наклонными подводными патрубками и вовсе превысил средней показатель очистки жидкости (степень очистки 90,71 %).
4. Была повышена производительность гидроциклонов в результате изменения конструкции. Так как была добавлена вторая коническая часть с входящим патрубком (биконические гидроциклоны имеют два входа).

В данной статье представлены результаты испытаний биконических гидроциклонов расположенных горизонтально. Однако, вызывает живой интерес вопрос, а как будут работать эти устройства в вертикальном положении, или под некоторым углом к горизонту. Эксперименты над биконическими гидроциклонами, расположенные в вертикальном положении, уже производятся. Ответ будет представлен в следующей статье.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Макаrchук 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., Байгурсинов 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. D. Kelsall a Study of the Motion of Solid Particles in a Hydraulic Cyclone Trans. Chem. Engrs., 30 (1954), pp. 87–108.
8. 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.
9. 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.
10. 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.

**Vysotsky Lev Ilyich**

E-mail: [vysotli@yandex.ru](mailto: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](mailto:izyumovya@mail.ru)

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

РИИЦ: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=599530](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=599530)

**Chernenko Yuri Viktorovich**

Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Saratov, Russia

E-mail: [Zevs\\_1234@mail.ru](mailto:Zevs_1234@mail.ru)

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

РИИЦ: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=938567](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=938567)

**Vysotsky Ilya Sergeyev**

E-mail: [Vysotskiy@mail.ru](mailto:Vysotskiy@mail.ru)

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

## Experimental studies of improved design biconical hydrocyclones

**Abstract.** Mechanical cleaning of liquids from contamination is an integral part of most technological water treatment schemes. The choice of technology and mechanism for cleaning a liquid 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, the authors in previously published works have proposed biconical hydrocyclones that have no analogues (with expanding cones, the wide bases of which are connected by a spiral channel for removing suspended matter). In addition, a variant was proposed for the arrangement of the supply pipes not normally to the longitudinal axis, but at a certain angle, which gives certain advantages. This article describes the operation of traditional hydrocyclones, their design flaws, and introduces new models of hydrocyclones. The authors present the results of experimental studies with previously proposed biconical hydrocyclones. The experiments were carried out on three different models of biconical hydrocyclones arranged horizontally, and the results obtained are satisfactory. The use of these biconical hydrocyclones is possible at treatment plants, for the treatment of waste water from car washes, and so on. These improvements to the design of hydrocyclones will change the existing approach to the design of hydrocyclones.

In conclusion, I would like to say that all the studies were carried out as part of the dissertation work, and also in the future, experiments with these hydrocyclones located vertically will be carried out, their results will be published later. Work on the creation of new models of biconical hydrocyclones continues. vertically, their results will be published later. Work on the creation of new models of biconical hydrocyclones continues.

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