



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



## ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ НАПОРНОГО ГИДРОЦИКЛОНА

Методические указания к лабораторной работе

Составители Г.Д. Слабожанин, Д.Г. Слабожанин



Томск – 2021

Изучение работы напорного гидроциклона: методические указания к лабораторной работе / Составители: Г.Д. Слабожанин, Д.Г. Слабожанин. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2021. – 11 с.

В указаниях приводятся основные теоретические сведения, содержание и порядок выполнения учебных демонстраций и лабораторной работы по определению эффекта осветления жидкости в циклоне на разработанном авторами на уровне изобретения (патент №2216050) устройстве №11, входящем в состав комплекса учебных лабораторий «КАПЕЛЬКА». Устройство работает по принципу песочных часов, поэтому по сравнению с традиционными установками для изучения работы гидроциклонов оно не имеет двигателей, насосов, вентилях, не требует подвода воды и электроэнергии, удобно для демонстраций, экономит лабораторные площади и имеет низкую стоимость.

Методические указания предназначены для бакалавров всех форм обучения по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство», изучающих дисциплины «Водоснабжение», «Водоснабжение и водоотведение», «Наружные сети водоснабжения и водоотведения».

Рассмотрены и рекомендованы к изданию по решению методического семинара кафедры Теплогазоснабжение и инженерные системы в строительстве № 4 от 23.12.2020.

Оригинал-макет подготовлен составителями Г.Д. Слабожаниным и Д.Г. Слабожаниным

## ВВЕДЕНИЕ

Методические указания составлены для студентов-бакалавров всех форм обучения и профилей подготовки по направлению 08.03.01 «Строительство», изучающих дисциплины «Водоснабжение», «Водоснабжение и водоотведение».

Методические принципы проведения практикума по очистке капельных и газообразных жидкостей определяются задачами, которые стоят перед будущими инженерами строительных, технологических и механических специальностей.

Студенты должны изучить конструкцию очистных установок и сущность технологических процессов, происходящих в них, а также быстро приобрести навыки по определению их важнейших характеристик. С учебно-методической точки зрения наиболее целесообразным является ознакомление студентов с работой упрощенных прозрачных моделей таких сооружений и проведение на них экспериментов. Они обеспечивают максимальную наглядность изучаемого явления.

Этим требованиям полностью отвечает устройство № 11 для изучения работы напорного гидроциклона, входящее в разработанный в ТГАСУ учебный комплекс «Капелька».

При выполнении лабораторной работы необходимо: изучить схему и принцип действия устройства № 11; ознакомиться с порядком проведения работы; провести наблюдения и замеры; обработать результаты исследований; оформить и защитить отчет. В отчете следует указать цель работы, сделать описание устройства № 11, методику проведения исследований и обработки результатов опытов, сделать выводы.

Работа выполняется двумя студентами, а отчет составляется и защищается каждым студентом.

# ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ НАПОРНОГО ГИДРОЦИКЛОНА

**Цель работы.** Изучить конструкцию и принцип действия напорного гидроциклона, приобрести навыки по экспериментальному определению эффективности очистки воды в циклоне от взвешенных веществ.

## 1. Общие сведения о гидроциклонах

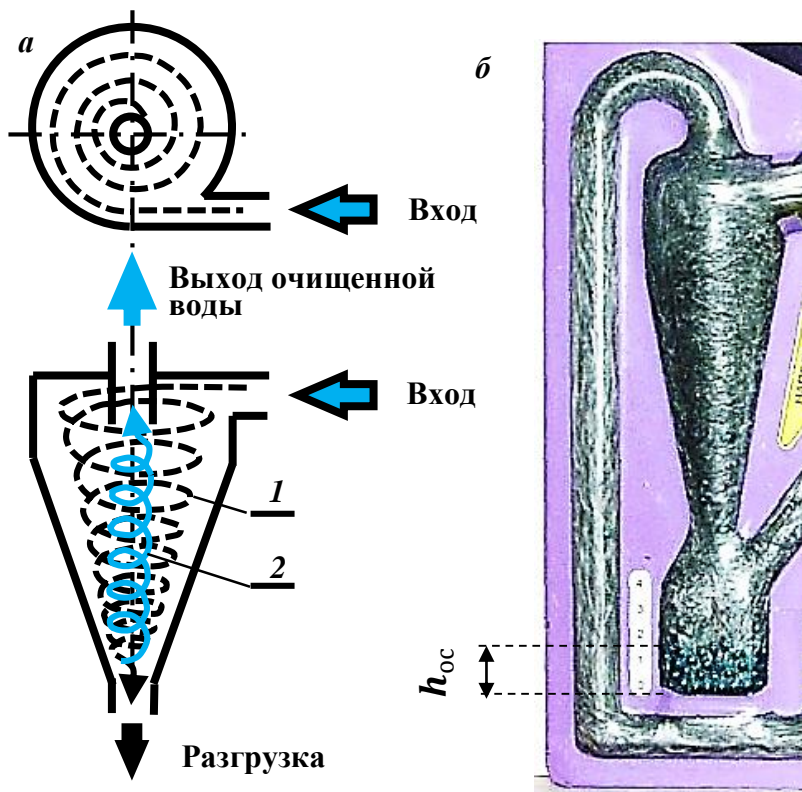
*Гидроциклоном* называют аппарат для выделения из жидкости механических примесей под действием центробежных сил в закрученном потоке. Гидроциклоны могут быть использованы в процессах осветления сточных вод, сгущения осадков, отмывки песка от нефтепродуктов.

Для очистки (осветления) исходная жидкость подается через тангенциально расположенный питающий патрубок в цилиндрическую часть корпуса гидроциклона и постепенно опускается вниз в конусную часть по винтовым пространственным спиралям (рис. 1). При быстром вращении жидкости вокруг центральной геометрической оси циклона частицы примеси под действием центробежной силы отбрасываются к цилиндрической стенке корпуса и сползают по ней в конусное днище, из которого удаляются через шламовый патрубок в шламовый бункер. В то же время осветленная вода меняет направление движения на 180 °, движется вверх во внутреннем спиральном потоке и отводится из центра корпуса через верхний сливной патрубок.

Скорость перемещения частицы к стенке циклона определяется двумя силами. Центробежная сила, которая стремится отбросить частицу к стенке циклона, определяется по формуле:

$$P = mv_t^2/r \quad (1)$$

где  $m$  – масса частицы;  $r$  – радиус вращения частицы вокруг геометрической оси циклона;  $v_t$  – тангенциальная (окружная) скорость, направленная перпендикулярно к радиусу вращения в данной точке.



**Рис. 1.** Схема (а) и структура (б) потоков в гидроциклоне в устройстве № 11 учебного комплекса «Капелька»:

1 и 2 – внешний и внутренний спиральные потоки;

$h_{ос}$  – высота слоя осадка в бункере

Противодействует перемещению частицы к стенке вдоль радиуса сила сопротивления жидкости:

$$S = 3\pi\mu du, \quad (2)$$

где  $u$  – радиальная скорость, направленная к стенке вдоль радиуса гидроциклона;  $\mu$  – динамический коэффициент вязкости среды;  $d$  – диаметр взвешенных частиц.

Следует заметить, что центробежная сила, осаждающая твердую частицу на стенку циклона, значительно больше силы тяжести, под действием которой происходит осаждение такой же частицы в отстойнике. Это обстоятельство обеспечивает более высокую эффективность работы и относительно малые размеры гидроциклона по сравнению с отстойником.

Эффект осветления  $\mathcal{E}$ , %, в гидроциклоне определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{C_{исх} - C_{осв}}{C_{исх}} 100\%, \quad (3)$$

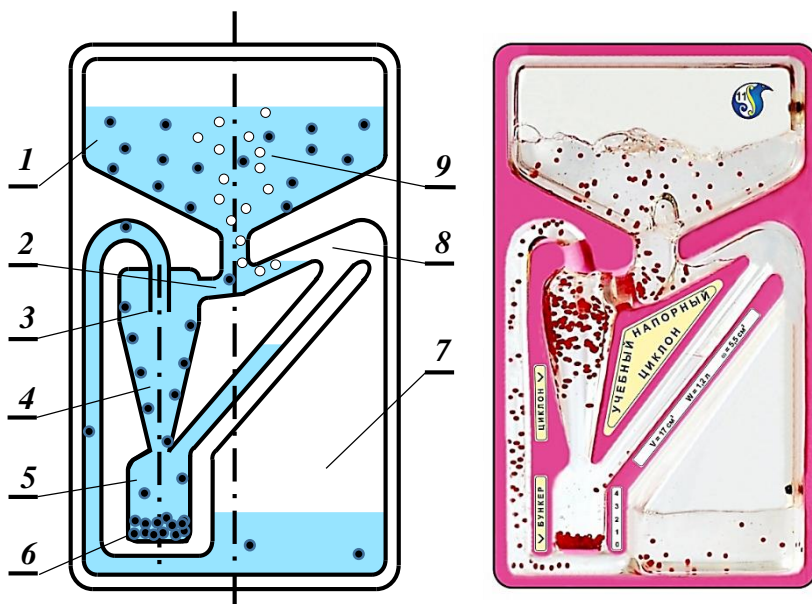
где  $C_{исх}$  – концентрация взвешенных веществ в исходной жидкости, поступающей на очистку в гидроциклон;  $C_{осв}$  – концентрация взвешенных веществ в осветленной воде.

Эффект осветления зависит от свойств очищаемой жидкости (плотности и вязкости), размера и плотности твердых частиц примеси, типа циклона, его размеров и скорости на входе. Из (1) видно, что эффект осветления повышается с увеличением скорости потока (напора) на входе в циклон и уменьшением радиуса циклона. Однако такие изменения приводят к резкому увеличению гидравлического сопротивления циклона, требуемого напора и, следовательно, энергозатрат на очистку.

## 2. Описание устройства для изучения гидроциклона

Используемое в настоящей работе устройство для изучения работы напорного гидроциклона (устройство № 11) выполнено на основе патента РФ на изобретение №2216050 (рис.2). Оно

содержит прозрачный корпус (рис. 2), баки 1 и 7, соединенные каналами между собой и с гидроциклоном 4. Гидроциклон имеет питающий патрубок 2 для подачи исходной жидкости и сливной патрубок 3 для отвода осветленной жидкости. Под гидроциклоном расположен бункер 5, в котором накапливаются уловленные в циклоне механические примеси (загрязнения) 6. Высоту слоя осажденных примесей  $h_{oc}$  можно измерить по равномерной шкале около бункера (см. рис. 1 и 2).



**Рис. 2. Схема и общий вид устройства № 11:**

1, 7 – баки; 2 – питающий патрубок; 3 – сливной патрубок; 4 – гидроциклон; 5 – бункер; 6 – отделенные примеси; 8 – воздушный канал; 9 – пузырьки

Устройство заполнено водой, содержащей пластмассовые шарики, имитирующие загрязнения, и микроскопические частицы алюминия для визуализации течений и работает следующим образом.

В положении устройства, изображенном на рис. 2, поступающая через гидроциклон в нижний бак вода вытесняет воздух в виде пузырей в верхний бак через воздушный канал 8, что способствует перемешиванию шарообразных частиц с жидкостью в верхнем баке 1 и поддерживает их во взвешенном состоянии. Жидкость с шарообразными частицами входит самотеком по питающему патрубку 2 в гидроциклон, где большая часть частиц отделяется и попадает в бункер 5. Осветленная жидкость с небольшой частью примесей поступает через сливной патрубок 3 в бак 7.

### 3. Порядок выполнения работы

1. Привести устройство в исходное положение, для чего поставить его на стол баком 1 и подождать, когда он полностью заполнится (рис. 3).

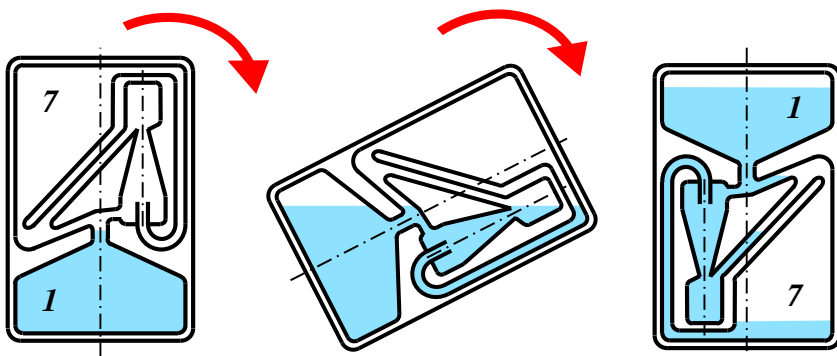
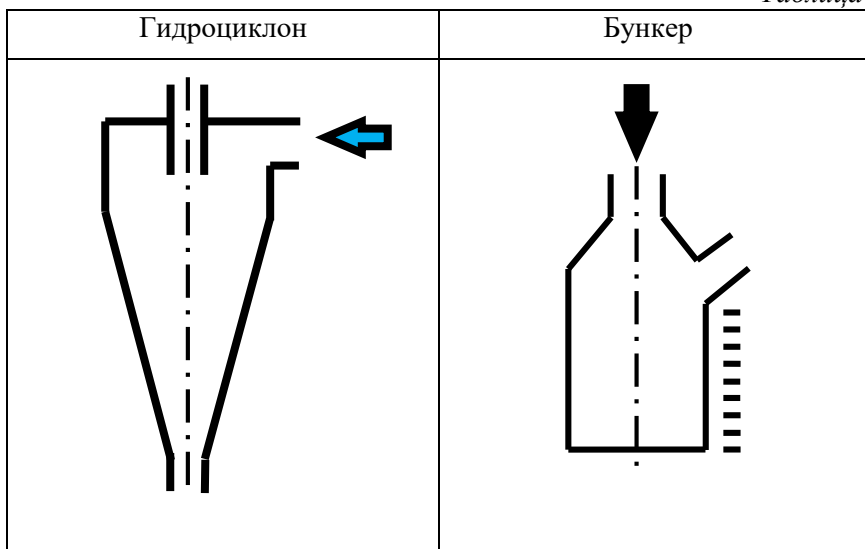


Рис. 3. Порядок действий по запуску устройства в работу

2. Медленно повернуть устройство в вертикальной плоскости по часовой стрелке до заполнения гидроциклона и бункера жидкостью без образования в них воздушных пробок. Затем поставить его баком 7 на стол, как показано на рис. 2 и 3.

3. Наблюдать схему и структуру потоков в гидроциклоне, баках и каналах устройства по меченым частицам алюминия и шарообразным включениям. Особое внимание обратить на процессы взвешивания примесей в баке 1 и их отделения в циклоне. В табл. 1 сделать зарисовку схемы движения частиц в гидроциклоне и проиллюстрировать степень заполнения бункера.

Таблица 1



4. Выполнить действия по п.п. 1, 2 и измерить высоту слоя осадка  $h_{ос}$  в бункере после опорожнения верхнего бака. Опыт повторить 3 раза.

5. Результаты замеров и параметры устройства занести в табл. 2. Произвести расчеты эффекта осветления жидкости в гидроциклоне по формулам, приведенным в таблице.

Таблица 2

№ п/п	Наименование величин	Обозначения, формулы	№ опыта		
			1	2	3
1	Уровень осадка в бункере, см	$h_{oc}$			
2	Объем осадка в бункере, см <sup>3</sup>	$V_{oc} = \omega h_{oc}$			
3	Объемная концентрация взвешенных веществ в исходной воде, см <sup>3</sup> /л	$C_{исх} = \frac{V}{W}$			
4	Объемная концентрация взвешенных веществ в осветленной воде, см <sup>3</sup> /л	$C_{осв} = \frac{V - V_{oc}}{W}$			
5	Эффект осветления, %	$\mathcal{E} = \frac{C_{исх} - C_{осв}}{C_{исх}} 100$			
6	Среднее арифметическое значение эффекта осветления, %	$\mathcal{E}_{cp} = \frac{1}{3} \sum_1^3 \mathcal{E}_i$			

*Примечание.* Объем примеси (шариков) в исходной воде  $V = 17 \text{ см}^3$ , объем воды в устройстве  $W = 1,2 \text{ л}$ , площадь поперечного сечения бункера  $\omega = 5,5 \text{ см}^2$  (указаны на корпусе устройства).

## Список рекомендуемой литературы

1. Лабораторный практикум по водоотведению и очистке сточных вод: Учеб. пособие для вузов / Калицун В.И. и др. – М.: Стройиздат, 2001. – 272 с.

2. Руководство к практическим занятиям в лаборатории процессов и аппаратов химической технологии: Учеб. пособие для вузов / Под ред. чл.-корр. АН СССР П.Г. Романкова – Л.: Химия, 1990. – 272 с.

3. Патент РФ 2216050, МКИ G09В 23/12. Учебно-лабораторное устройство для демонстрации работы гидроциклона / Слабожанин Д.Г., Слабожанин Г.Д. – Оpubл. 10.11.2003, Бюл. №31.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение .....</b>	<b>3</b>
<b>ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ НАПОРНОГО ГИДРОЦИКЛОНА .....</b>	<b>4</b>
<b>1. Общие сведения о гидроциклонах.....</b>	<b>4</b>
<b>2. Описание устройства для изучения гидроциклона.....</b>	<b>6</b>
<b>3. Порядок выполнения работы .....</b>	<b>8</b>
<b>Список рекомендуемой литературы .....</b>	<b>11</b>