МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра водоснабжения и водоотведения

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД В НАПОРНЫХ ГИДРОЦИКЛОНАХ

Методические указания к выполнению лабораторных работ
для студентов направления 270800.62 «Строительство»,
профиль «Водоснабжение и водоотведение».

Казань
2013

УДК 628.32
ББК 38.761.2
А29

А29 Очистка сточных вод в напорных гидроциклонах: Методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов направления 270800.62 «Строительство», профиль «Водоснабжение и водоотведение». / Сост.: А.Б. Адельшин, А.С. Селюгин, А.В. Бусарев. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та, 2013. – 13 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

В методических указаниях приведены: основы теории очистки сточных вод в напорных гидроциклонах; описание лабораторной установки; порядок выполнения лабораторных работ по определению расходных характеристик напорного гидроциклона, эффективности очистки сточных вод от взвешенных веществ и нефтепродуктов; методы обработки результатов исследований.

Методические указания предназначены для студентов направления 270800.62 «Строительство», профиль «Водоснабжение и водоотведение».

Рецензент
Доцент кафедры металлоконструкций и ИС Казанского
государственного архитектурно-строительного университета
Д.М. Хусаинов

УДК 628.32
БКК 38.761.2

© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2013

© Адельшин А.Б., Селюгин А.С., Бусарев А.В., 2013

Введение

Данные методические указания составлены в соответствии с программой модуля «Очистка сточных вод» и предназначены для студентов специальности 270806.62 «Водоснабжение и водоотведение» дневной и заочной форм обучения.

При выполнении лабораторной работы необходимо:

– ознакомиться с правилами техники безопасности при проведении исследований;

– ознакомиться с устройством лабораторной установки и порядком проведения работы;

– провести исследования;

– обработать результаты исследований;

– оформить отчет;

– защитить отчет.

Отчет выполняется в виде пояснительной записки, где приводится цель работы, описание экспериментальной установки, методика проведения исследований и обработки результатов опытов.

Сборник включает три лабораторные работы по очистке сточных вод в напорных гидроциклонах.

Данные лабораторные работы выполняются несколькими студентами, а отчет составляется и защищается каждым студентом по отдельности.

1. Общие положения

На промышленных предприятиях различных отраслей промышленности (машиностроительных, нефтеперерабатывающих и др.) образуются сточные воды, загрязненные нефтепродуктами и взвешенными веществами (производственные и атмосферные). Перед сбросом в водоотводящие сети населенных пунктов и поверхностные источники, производственные сточные воды (ПСВ) должны подвергаться очистке на локальных очистных сооружениях для снижения концентрации нефтепродуктов и взвешенных веществ до нормативных показателей. Очистка нефтесодержащих сточных вод производится преимущественно механическими и физико-химическими методами, в том числе в гидроциклонах.

Гидроциклоны – это аппараты для разделения в водной среде с помощью центробежных сил взвешенных частиц, отличающихся по плотности. По гидравлическим условиям различают два основных вида гидроциклонов: закрытые (высоконапорные) и открытые (низконапорные). Основные преимущества гидроциклонов – это высокая удельная произ-

водительность, низкие затраты на строительство и эксплуатацию, высокое качество целевых продуктов разделения; возможность создания компактных автоматизированных установок [1].

Напорные гидроциклоны применяются для выделения из ПСВ примесей, плотность которых отличается от плотности жидкой среды. Они могут быть единичными и батарейными (мультигидроциклоны и батареи гидроциклонов) и применяются в различных отраслях промышленности в процессах осветления, сгущения и классификации, заменяя отстойники, сгустители, классификаторы [1].

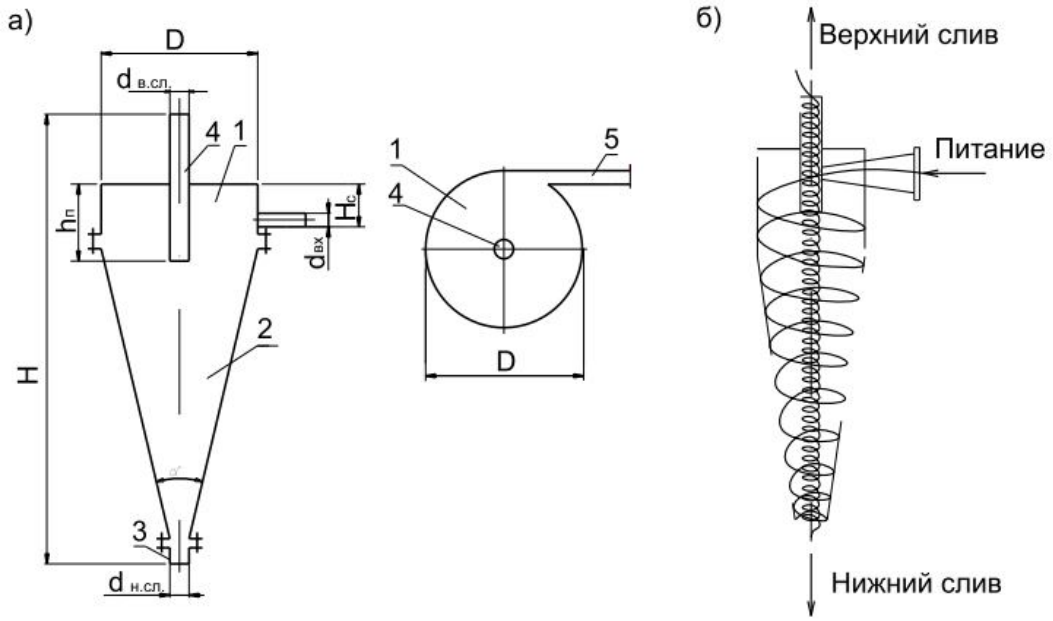

Рис. 1. Схема напорного двухпродуктового гидроциклона (а) и схема потоков в напорном гидроциклоне (б)

Напорный гидроциклон (рис. 1а) состоит из цилиндрической 1 и конической 2 частей, нижнего 3 и верхнего 4 сливных патрубков и входного патрубка 5, установленного тангенциально к цилиндрической части корпуса гидроциклона.

На рис. 1б представлена принципиальная схема движения потоков жидкости в гидроциклоне. Обрабатываемая жидкость под избыточным давлением подается в аппарат через входной патрубок (питание). Тангенциальный ввод жидкости обеспечивает создание вращательного движения относительно оси гидроциклона. При этом имеет место образование двух характерных потоков жидкости. Внешний поток, вращаясь, проходит цилиндрическую и коническую части и направляется к нижнему сливному отверстию. Внутренний аксиальный восходящий поток направляется к верхнему сливному отверстию гидроциклона. Направления вращения внешнего и внутреннего потоков совпадают [1].

Если жидкость из верхнего и нижнего сливов гидроциклона изливается в атмосферу, то гидроциклон работает со свободным изливом, а если излив жидкости осуществляется в емкость, в которой поддерживается избыточное давление, то гидроциклон работает с противодавлением на сливах.

Разделение в гидроциклонах суспензий и эмульсий осуществляется за счёт разности плотностей частиц дисперсной фазы и дисперсной среды под действием сил центробежного поля. Твёрдые взвешенные частицы, как более тяжелая фаза, отбрасываются к стенкам гидроциклона и вместе с частью воды выносятся через его нижнее сливное отверстие (нижний слив). Очищенная вода восходящим аксиальным потоком выносится через верхнее сливное отверстие гидроциклона (верхний слив). Нефтепродукты как более легкая фаза, концентрируются в осевой части корпуса гидроциклона и вместе с частью воды выносятся восходящим аксиальным потоком через верхнее сливное отверстие гидроциклона. Очищенная вода в этом случае отводится из гидроциклона через его нижний слив [1].

Частица, находящаяся в гидроциклоне испытывает влияние в основном двух сил: центробежной P, отбрасывающей ее к стенке гидроциклона, и силы сопротивления среды S, возникающей от действия радиального потока жидкости и увлекающей ее к оси гидроциклона. Центробежная сила P, г·см/с^2, определяется по формуле [2]:

$$P = \frac{m \cdot v_t^2}{r}, \qquad (1)$$

где m – масса частицы, г; r – радиус вращения, см; v_t – тангенциальная скорость, направленная перпендикулярно к радиусу вращения в данной точке, см/с.

Сила сопротивления среды S, г·см/с^2, определяется по формуле [2]

$$S = 3\pi \cdot \mu \cdot d \cdot u, \qquad (2)$$

где u – радиальная скорость, направленная вдоль радиуса гидроциклона, см/с; μ – вязкость среды, г·см/с; d – диаметр частицы, см.

Одним из основных факторов, влияющих на эффект очистки сточных вод в напорном гидроциклоне, является давление на входе в него (напор), так как данный фактор определяет окружную скорость, действующую в гидроциклоне.

Исходя из этого, целями лабораторных исследований является изучение влияния давления на входе в гидроциклон (напора) на его расходные характеристики и эффективность очистки от взвешенных веществ и нефтепродуктов.

2. Описание лабораторной установки

Схема лабораторной установки приведена на рис. 2.

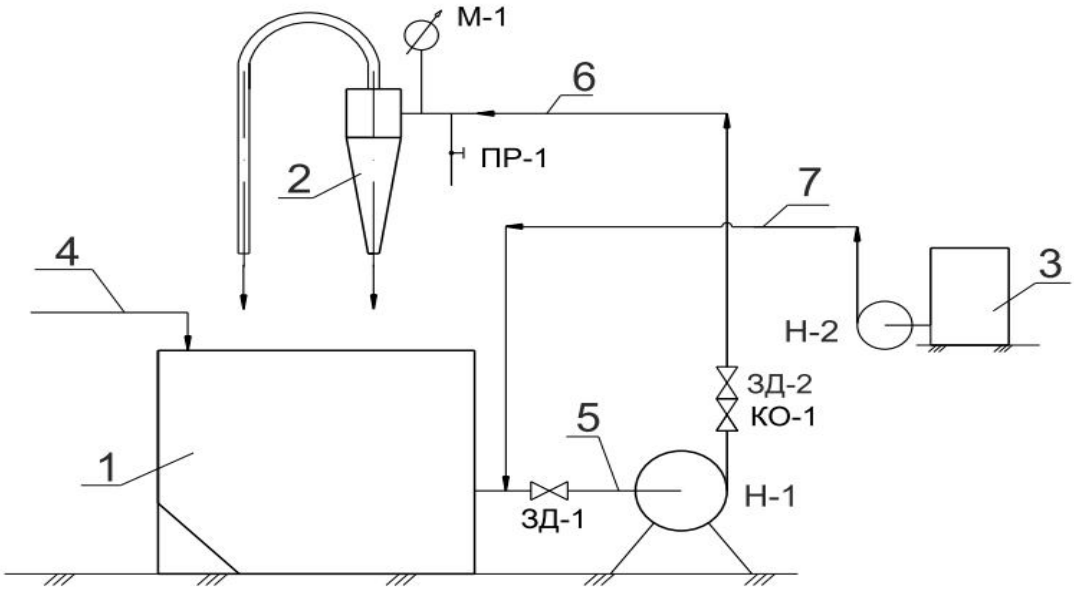

Рис. 2. Схема лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из емкости – 1, напорного двухпродуктового гидроциклона – 2, емкости для нефтепродуктов – 3, рабочего насоса Н–1, насоса-дозатора Н–2, трубопроводов и запорно-регулирующей арматуры. Конструкция установки позволяет проводить исследования на гидроциклонах с различными геометрическими характеристиками. Перед началом лабораторной работы измеряются геометрические характеристики исследуемого гидроциклона и заносятся в табл. 1.

Таблица 1

Геометрические характеристики гидроциклона

Диаметры, мм				Угол конусности, град, α	Высота цилиндрической, части, H_c , мм	Глубина погружения патрубка верхнего слива, $h_п$, мм
гидроциклона, D	входного патрубка, $d_{вх}$	патрубка верхнего слива, $d_{в.сл.}$	патрубка нижнего слива, $d_{н.сл.}$			
1	2	3	4	5	6	7

Лабораторная установка работает следующим образом. Емкость 1 по трубопроводу 4 заливается водой. Вода из емкости 1 по всасывающему трубопроводу 5 поступает в насос Н–1, откуда она по трубопроводу 6 подаётся в гидроциклон 2 и через его верхнее и нижнее сливные отверстия поступает в емкость 1. На трубопроводе 5 установлена задвижка ЗД–1, а на трубопроводе 6 задвижка ЗД–2, обратный клапан КО–1, пробоотборник ПР–1 и манометр М–1.

Лабораторная работа № 1

Определение расходных характеристик напорного гидроциклона

1. Общие положения

Производительность гидроциклона $Q_{гц}$, л/с, определяется по формуле [1];

$$Q_{гц} = Q_{в.сл.} + Q_{н.сл.} , \qquad (3)$$

где $Q_{в.сл.}$ – расход жидкости через верхний слив гидроциклона, л/с; $Q_{н.сл.}$– расход жидкости через нижний слив гидроциклона, л/с.

2 Цель лабораторной работы

Целью работы является определение расходных характеристик напорного гидроциклона.

3 Лабораторное оборудование

Для проведения работы необходимо иметь: а) лабораторную гидроциклонную установку; б) две емкости объемом 10 л; в) мерный цилиндрический сосуд объемом 2 л; г) секундомер.

4. Порядок проведения работы

Перед началом работы задвижки ЗД–1 и ЗД–2 полностью закрыты. В емкость 1 наливается вода. Полностью открывается задвижка ЗД–1, заливается и пускается насос Н–1. Частично открывается задвижка ЗД–2. Давление на выходе в гидроциклон регулируется по показаниям манометра М–1 при помощи задвижки ЗД–2. При данном давлении на выходе в гидроциклон установка работает 5–10 минут, что позволяет считать движение жидкости в гидроциклоне установившимся.

Для определения производительности гидроциклона применяется объемный метод. Одна бригада студентов определяет расход жидкости из нижнего слива гидроциклона, вторая – из верхнего слива. По команде преподавателя под верхний и нижний слив гидроциклона одновременно подставляются 10 литровые емкости. Одновременно включается секундомер. Через 10 секунд емкости одновременно убираются из под сливов гидроциклона. При помощи мерных цилиндров определяется объём воды в каждой из емкостей. Расход воды для каждого из сливов q, л/с, определяется по формуле:

$$q = \frac{W}{t}, \tag{4}$$

где W – объем жидкости, л; t = 10 сек. – время, за которое набрался данный объём жидкости.

Данная операция повторяется трижды. Расходы жидкости из нижнего слива $Q_{н.сл}$, л/с, и верхнего слива $Q_{в.сл}$, л/с, определяются по формулам

$$Q_{н.сл.} = \frac{q_{н.сл.} + q'_{н.сл.} + q''_{н.сл.}}{3}; \tag{5}$$

$$Q_{в.сл.} = \frac{q_{в.сл.} + q'_{в.сл.} + q''_{в.сл.}}{3}. \tag{6}$$

Результаты измерений и расчетов заносятся в табл. 2.

Таблица 2

Давление на входе в гидроциклон,Р, кгс/см^2	Расход жидкости через нижний слив, л/с				Расход жидкости через верхний слив, л/с			
	$q_{н.сл.}$	$q'_{н.сл.}$	$q''_{н.сл}$	$Q_{н.сл.}$	$q_{в.сл.}$	$q'_{в.сл.}$	$q''_{в.сл}$	$Q_{в.сл.}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9

По формуле (3) определяется $Q_{гц}$ и строится график зависимости $Q_{гц} = f(P)$.

Лабораторная работа № 2

Определение эффективности очистки сточных вод от взвешенных веществ в напорном гидроциклоне

1. Общие положения

Эффект очистки сточных вод в напорном гидроциклоне от взвешенных веществ $Э_{в.в.}$,%, определяется по формуле [1]

$$Э_{в.в.} = \frac{(C_{в.в.}^{исх} - C_{в.в.}^{оч})}{C_{в.в.}^{исх}} \cdot 100\%, \qquad (7)$$

где $C_{в.в.}^{исх}$ – концентрация взвешенных веществ в воде, поступающей на очистку в гидроциклон, мг/л; $C_{в.в.}^{оч}$ – концентрация взвешенных веществ в очищенной воде, мг/л.

2. Цель лабораторной работы

Целью работы является определение эффективности очистки сточных вод в напорных гидроциклонах от взвешенных веществ.

3. Порядок проведения работы

Исследования по очистке сточных вод взвешенных веществ в напорном гидроциклоне проводятся в следующей последовательности. Перед началом работы задвижки ЗД–1 и ЗД–2 полностью закрыты. В емкости 1 приготавливается раствор суспензии. Полностью открывается задвижка ЗД–1, заливается и пускается насос Н–1. Частично открывается задвижка ЗД–2. Давление на выходе в гидроциклон регулируется по показаниям манометра М–1 при помощи задвижки ЗД–2. При данном давлении на выходе в гидроциклон установка работает 5–10 минут, что позволяет считать движение жидкости в гидроциклоне установившимся.

Затем, одновременно отбираются пробы исходной воды при помощи пробоотборника ПР–1 и воды из верхнего слива гидроциклона. При отборе проб необходимо руководствоваться методическими указаниями [3]. В отобранных пробах определяется концентрация взвешенных веществ по методике [4]. Результаты опытов заносятся в табл. 3.

Таблица 3

Давление на входе в гидроциклон, кгс/см^2	Производительность гидроциклона, л/с	Концентрация взвешенных веществ, мг/л		Эффект очистки, %
		$C_{в.в.}^{исх}$	$C_{в.в.}^{оч}$	
1	2	3	4	5

4. Обработка результатов исследований

Эффект очистки в гидроциклоне от взвешенных веществ определяется по формуле (7).Строятся графики зависимостей: $Q_{г.ц.} = f(P)$ и $Э_{в.в.} = f(P)$.

Лабораторная работа № 3

Определение эффективности очистки сточных вод от нефтепродуктов в напорном гидроциклоне

1. Общие положения

Эффект очистки сточных вод в напорном гидроциклоне от нефтепродуктов $Э_{н.}$,%, определяется по формуле [1]

$$Э_н = \frac{C_н^{исх} - C_н^{оч}}{C_н^{исх}} 100\% , \qquad (8)$$

где $C_н^{исх}$ – концентрация взвешенных веществ в воде, поступающей на очистку в гидроциклон, мг/л; $C_н^{оч}$ – концентрация взвешенных веществ в очищенной воде, мг/л.

2. Цель лабораторной работы

Целью работы является: определение эффективности очистки сточных вод в напорных гидроциклонах от нефтепродуктов.

3. Порядок проведения работы

Исследования по очистке сточных вод взвешенных веществ в напорном гидроциклоне проводятся в следующей последовательности. Перед началом работы задвижки ЗД–1 и ЗД–2 полностью закрыты. В емкость 3

заливаются нефтепродукты. Емкость 1 заполняется водой. Полностью открывается задвижка ЗД–1, заливается и пускается насос Н–1. Частично открывается задвижка ЗД–2. Давление на выходе в гидроциклон регулируется по показаниям манометра М–1 при помощи задвижки ЗД–2. Включается насос Н-2. Нефтепродукты начинают дозироваться во всасывающий трубопровод насоса Н–1. В данном режиме установка работает в течение 5–10 минут, что позволяет считать движение жидкости в гидроциклоне установившимся.

Одновременно отбираются пробы исходной жидкости при помощи пробоотборника ПР-1 и жидкости из нижнего слива гидроциклона. При отборе проб необходимо руководствоваться методическими указаниями [3]. В отобранных пробах определяется концентрация нефтепродуктов по методике [5]. Результаты опытов заносятся в табл. 4.

Таблица 4

Давление на входе в гидроциклон, кгс/см^2	Производительность гидроциклона, л/с	Концентрация нефтепродуктов, мг/л		Эффект очистки, %
		$C_н^{исх}$	$C_н^{оч}$	
1	2	3	4	5

4. Обработка результатов исследований

Эффект очистки в гидроциклоне от нефтепродуктов определяется по формуле (8). Строятся графики зависимостей $Э_н = f(P)$ при различном давлении на входе в гидроциклон.

Меры безопасности при работе на лабораторной установке

Лабораторная установка имеет в своем составе центробежные насосы Н–1 и насос–дозатор Н–2 с электродвигателями, поэтому необходимо соблюдать правила эксплуатации насосного оборудования [6].

Студенты, выполняющие данную лабораторную работу, должны пройти инструктаж по технике безопасности при работе с электронасосным оборудованием.

Лабораторная установка должна быть установлена в сухом отапливаемом помещении, где отсутствуют любые агрессивные пары, вдали от предметов, излучающих тепло. К установке должен быть обеспечен свободный доступ. Электронасосное оборудование должно быть надежно заземлено.

Перед началом работы необходимо произвести внешний осмотр лабораторной установки, проверить надежность закрепления соединительных трубопроводов и шлангов, работу задвижек ЗД–1 и ЗД–2. Ознакомить студентов с назначением и расположением органов управления работой насосного оборудования, объяснить правила его включения и выключения, установки необходимых величин давления на входе в гидроциклон.

Включение и выключение электронасосного оборудования производится только персоналом кафедры ВиВ (учебный мастер или заведующий лабораторией).

Во время проведения лабораторной работы необходимо следить за герметичностью всех соединений, не допуская утечки жидкости. В случае обнаружения утечки необходимо сбросить давление, выключить установку из работы и устранить неисправность.

Категорически запрещается:

– работать с незаземленным электронасосным оборудованием;

– нарушать правила эксплуатации установки (включения, выключения, регулирования параметров);

– производить ремонт при включенном электропитании;

– устранять утечки не выключив электронасосное оборудование.

Список литературы

1. Очистка сточных вод в напорных гидроциклонах: Методические указания к лабораторной работе для студентов специальности 290800 / Сост.: А.Б. Адельшин, А.В. Бусарев, А.С. Селюгин, М.В. Ланцов. – Казань: КГАСА, 2000. – 11с.
2. Калицун В.И, Ласков Ю.М. Лабораторный практикум по водоотведению и очистке сточных вод: учебное пособие для вузов. – М.: Стройиздат, 1995. – 267 с.
3. ПНД Ф 12.15.1–08. Методические указания по отбору проб для анализа сточных вод. – М.: Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2008. – 19 с.
4. ПНД Ф 14.1:2.110–97. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений содержаний взвешенных веществ и общего содержания примесей в пробах природных и очищенных сточных вод гравиметрическим методом. – М.: Государственный комитет РФ по охране окружающей среды, 1997.– 9 с.
5. ПНД Ф 14.1:2:4.168–2000. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах питьевых, природных и очищенных сточных вод методом ИК–спектрофотометрии с использованием концентрато- мера КН–2. – М.: Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ, 2000. – 11 с.
6. ГОСТ Р 52743-2007 (ЕН 809:1998). Насосы и агрегаты насосные для перекачки жидкостей. Общие требования безопасности. – М.: Стандартинформ, 2008. – 22 с.

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД В НАПОРНЫХ ГИДРОЦИКЛОНАХ

Методические указания к выполнению лабораторных работ
для студентов направления 270800.62 «Строительство»,
профиль «Водоснабжение и водоотведение».

Составители: Адельшин Азат Билялович
Селюгин Александр Сергеевич
Бусарев Андрей Валерьевич