

УДК 628.3

Бусарев Андрей Валерьевич

кандидат технических наук, доцент

E-mail: reder1@myrambler.ru

Селюгин Александр Сергеевич

кандидат технических наук, доцент

E-mail: a.selyugin@inbox.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Корнилов Александр Денисович

мастер участка

E-mail: krnilvsas@yandex.ru

ООО «Ремонтно-строительная компания»

Адрес организации: 420066, Россия, г. Казань, ул. Бондаренко, д. 35

К вопросу очистки нефтесодержащих сточных вод, образующихся в процессе транспортировки и хранения дизельного топлива

Аннотация

Постановка задачи. Целью исследования является очистка сточных вод, образующихся при транспортировке и хранении дизельного топлива, загрязненных нефтепродуктами и твердыми взвешенными веществами, по технологической схеме «гидроциклон-отстойник». Необходимо провести исследования по очистке сточных вод, образующихся при транспортировке и хранении дизельного топлива, в напорных гидроциклонах, а также определить необходимое время отстаивания обработанных в напорном гидроциклоне стоков.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в определении наиболее эффективного напорного гидроциклона для очистки нефтесодержащих сточных вод, образующихся при перекачке и хранении дизельного топлива, и определении необходимого времени отстаивания обработанных в гидроциклоне сточных вод. Результаты исследований использованы при проектировании установки для очистки нефтесодержащих сточных вод, образующихся при перекачке и хранении дизельного топлива.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в определении типа гидроциклона и технологических параметров его работы при очистке нефтесодержащих сточных вод, а также определении необходимого времени отстаивания обработанных в гидроциклоне сточных вод.

Ключевые слова: нефтесодержащие сточные воды, очистка, гидроциклон, экспериментальная установка, методика исследований, обработка результатов.

Введение

На железнодорожном транспорте широко используется дизельное топливо, которое применяется в качестве горючего для тепловозов. При транспортировке и хранении дизельного топлива образуются нефтесодержащие сточные воды, загрязнённые нефтепродуктами и твёрдыми взвешенными веществами. Концентрация нефтепродуктов в данных стоках достигает 3000 мг/л, а содержание взвешенных веществ – 1000 мг/л.

Для очистки сточных вод от взвешенных веществ и нефтепродуктов авторами работ [1-6] предлагается использовать напорные гидроциклоны. В работах [2, 3] предлагается использовать для очистки нефтесодержащих сточных вод напорные гидроциклоны диаметром 75 мм. В работе [6] представлены результаты исследований процессов обработки нефтесодержащих сточных вод в напорных гидроциклонах диаметром от 40 до 100 мм. Авторы работы [7] предлагают использовать для разделения суспензий и эмульсий гидроциклоны малых диаметров.

На кафедре водоснабжения и водоотведения КГАСУ в течение ряда лет ведутся научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы по изучению процессов очистки нефтесодержащих сточных вод и созданию установок типа «блок гидроциклон-

отстойник», состоящих из напорных двухпродуктовых гидроциклонов конструкции КГАСУ и отстойников различных модификаций [1-3]. Очистка нефтесодержащих сточных вод в установках типа «блок гидроциклон – отстойник» осуществляется в две стадии: а) обработка в поле центробежных сил напорных гидроциклонов; б) последующее гравитационное разделение.

При обработке нефтесодержащих сточных вод в напорных гидроциклонах происходит не только отделение нефтепродуктов от воды, но и наблюдается разрушение оболочек вокруг капель нефтепродуктов; осуществляется их укрупнение и повышение монодисперсности частиц внутренней фазы эмульсий типа «нефть в воде», которыми являются нефтесодержащие сточные воды. Все это значительно интенсифицирует процесс их последующего отстаивания [1-3].

Описание экспериментальной установки

Для проведения экспериментальных исследований процессов очистки сточных вод, образующихся при транспортировании и хранении дизельного топлива, была создана экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 1.

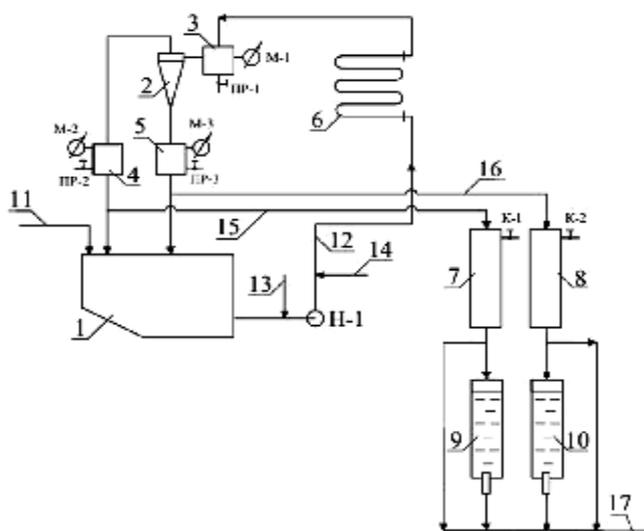


Рис. 1. Схема экспериментальной установки (иллюстрация авторов)

В состав данной установки входят: емкость 1, напорный гидроциклон 2, успокоительная емкость 3, напорная емкость верхнего 4 и нижнего 5 сливов, каплеобразователь 6, пробоотборные устройства 7 и 8, стеклянные цилиндры 9 и 10, насосы, соединительные трубопроводы, запорно-регулирующая арматура, а также система контрольно-измерительных приборов.

При работе установки в емкость 1 по трубопроводу 11 заливается водопроводная вода, которая насосом Н-1 по трубопроводу 12 подается в напорный гидроциклон 2. Во всасывающий трубопровод насоса Н-1 насосом-дозатором по трубопроводу 13 подается суспензия. По трубопроводу 14 насосом-дозатором в линию 12 подаются нефтепродукты (дизельное топливо). Формирование устойчивых нефтесодержащих сточных вод завершается в каплеобразователе 6, который представляет собой трубопровод переменного диаметра. При движении по нему воды, суспензии и нефтепродуктов образуются стойкие эмульсии типа «нефть в воде».

Успокоительная емкость 3 предназначена для стабилизации потока сточных вод, поступающих в гидроциклон 2. Она оборудована манометром М-1 для измерения давления на входе в гидроциклоны и пробоотборником ПР-1, который предназначен для отбора проб воды, поступающей на очистку. Емкости верхнего слива 4 и нижнего слива 5 предназначены для создания противодействия на сливах гидроциклона 2.

Емкости 4 и 5 оборудованы манометрами М-2 и М-3 для контроля величины противодействия на сливах гидроциклона, а также пробоотборниками ПР-2 и ПР-3 для

отбора проб, в которых определяется содержание нефтепродуктов и взвешенных веществ. Пробоотборные устройства 7 и 8 предназначены для заливки цилиндров 9 и 10, которые используются для определения времени отстаивания, необходимого для очистки сточных вод от нефтепродуктов. Устройства 7 и 8, оборудованные воздушными кранами К-1 и К-2, позволяют предотвращать изменение дисперсности капель дизельного топлива при заливке цилиндров 9 и 10. Общий вид цилиндров 9 и 10 представлен на рис. 2.

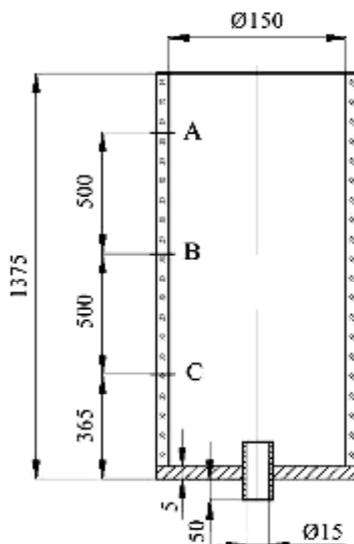


Рис. 2. Общий вид стеклянного цилиндра (иллюстрация авторов)

Экспериментальные исследования

При проведении исследований по очистке нефтесодержащих сточных вод в напорных гидроциклонах экспериментальная установка работает следующим образом. В емкость 1 по трубопроводу 11 заливается водопроводная вода. Включается насос Н-1. По показаниям манометров М-1, М-2 и М-3 с помощью запорно-регулирующей арматуры устанавливается давление на входе в напорный гидроциклон ($P=0,3$ МПа) и противодействие на его сливах ($P_a = 0,1$ МПа). Включаются насосы-дозаторы, подающие в водопроводную воду суспензию и дизельное топливо. Для определения эффекта очистки сточных вод от нефтепродуктов в напорном гидроциклоне, отбираются пробы исходной воды из пробоотборника ПР-1 и очищенной воды нижнего слива гидроциклоне из пробоотборника ПР-3.

Концентрация нефтепродуктов определяется путем фотоколориметрирования раствора, полученного при экстракции из воды нефтепродуктов с помощью четыреххлористого углерода [8]. Эффект очистки НСВ от нефтепродуктов \mathcal{E}_n , %, определяется по формуле [8]:

$$\mathcal{E}_n = \frac{C_n^{исх} - C_n^{оч}}{C_n^{исх}} \times 100, \quad (1)$$

где $C_n^{исх}$ – концентрация нефтепродуктов в воде, поступающей на очистку, мг/л;
 $C_n^{оч}$ – концентрация нефтепродуктов в очищенной воде, мг/л.

Для определения эффекта очистки сточных вод от взвешенных веществ в напорном гидроциклоне отбираются пробы исходной воды из пробоотборника ПР-1 и очищенной воды (верхний слив гидроциклона) из пробоотборника ПР-2. Концентрация в пробах взвешенных веществ определяется весовым методом [9].

Эффект очистки сточных вод от взвешенных веществ $\mathcal{E}_{в.в.}$, %, определяется по формуле [8]:

$$\mathcal{E}_{в.в.} = \frac{C_{в.в.}^{исх} - C_{в.в.}^{оч}}{C_{в.в.}^{исх}} \times 100, \quad (2)$$

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

$C_{в.в.}^{оч}$ – концентрация взвешенных веществ в очищенной воде, мг/л.

Для проведения исследований по очистке нефтесодержащих сточных вод использовались напорные гидроциклоны диаметром 40 мм, геометрические характеристики которых представлены в табл. 1.

Таблица 1

Геометрические характеристики гидроциклонов

Обозначение гидроциклона	Диаметр, мм				Угол конусности, α , град	Высота цилиндрической части, $H_{ст}$, мм	Общая высота гидроциклона, $H_{общ}$, мм
	гидроциклона, $D_{гц}$	входного патрубка, $d_{вх}$	патрубка верхнего слива, $d_{в.сл.}$	патрубка нижнего слива, $d_{н.сл.}$			
ГЦ-40-I	40	15	10	5	5	15	525
ГЦ-40-II	40	15	15	10	5	15	525
ГЦ-40-III	100	15	8	5	5	15	470

Результаты очистки сточных вод, образующихся при транспортировке и хранении дизельного топлива в напорных гидроциклонах, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты очистки нефтесодержащих сточных вод в напорных гидроциклонах

Тип гидроциклона	Концентрация нефтепродуктов, мг/л		$\mathcal{E}_н$, %	Концентрация взвеси, мг/л		$\mathcal{E}_{в.в.}$, %	Расход, л/с	
	в исходной воде	в очищенной воде		в исходной воде	в очищенной воде		из верхнего слива гидроциклона	из нижнего слива гидроциклона
ГЦ-40-I	2985	1522	49	986	480	51	0,31	0,1
	3024	1440	52	1020	507	50	0,3	0,09
	3017	1471	51	1008	522	48	0,29	0,11
ГЦ-40-II	2979	1608	46	1032	481	53	0,33	0,19
	2981	1541	48	1011	513	49	0,34	0,15
	3015	1562	48	997	486	51	0,33	0,18
ГЦ-40-III	2993	1642	45	978	506	48	0,25	0,08
	3017	1593	47	1005	534	47	0,26	0,07
	3006	1619	46	1021	518	49	0,24	0,09

Анализ результатов исследований процессов очистки сточных вод, образующихся при транспортировке и хранении дизельного топлива, в напорных гидроциклонах, позволяет сделать следующие выводы:

а) концентрация нефтепродуктов в поступающей на очистку сточной воде составила 2981-3024 мг/л;

б) содержание взвешенных веществ в поступающей на очистку сточной воде, составила 978-1032 мг/л;

в) эффект очистки сточных вод в напорных гидроциклонах от нефтепродуктов составил 45-52 %;

г) эффект очистки сточных вод в напорных гидроциклонах от взвешенных веществ составил 47-53 %;

д) для очистки сточных вод, образующихся при перекачке и хранении дизельного топлива, рекомендуется использовать гидроциклон типа ГЦ-40-1, имеющий более высокий эффект очистки сточных вод по нефтепродуктам и достаточно большую производительность.

При проведении экспериментальных исследований по определению времени отстаивания обработанных в гидроциклоне сточных вод экспериментальная установка работает следующим образом. В емкость 1 подается водопроводная вода. Включается насос Н-1. Устанавливается давление на входе в гидроциклон типа ГЦ-40-1, равное $P=0,3$ МПа, а также противодействие на его сливах, равное $P_a=0,1$ МПа. По трубопроводам 13 и 14 насосами дозаторами подаются суспензия и нефтепродукты. После того, как движение в системе станет установившимся, отбираются пробы из пробоотборников ПР-2 и ПР-3, в которых определяется содержание в воде нефтепродуктов $C_n^{н.сл.}$ и $C_n^{в.сл.}$.

По трубопроводам 15 и 16 производится заполнение устройств 7 и 8. Затем заливаются цилиндры 9 и 10 до отметки «А». Через 5 мин вода из цилиндров 9 и 10 по трубопроводу 17 сливается в канализацию до отметки «В». При этом под струю жидкости из нижних патрубков цилиндров 15 и 16 подставляются колбы для отбора проб жидкости. В пробах определяется концентрация нефтепродуктов $C_k^{в.сл.}$ и $C_k^{н.сл.}$.

Эффект отстаивания для жидкости из верхнего слива гидроциклона $\mathcal{E}_{в.сл.}$, %, определяется по формуле [10]:

$$\mathcal{E}_{в.сл.} = \frac{C_{исх}^{в.сл.} - C_k^{в.сл.}}{C_{исх}^{в.сл.}} \times 100. \quad (3)$$

Эффект отстаивания для жидкости из нижнего слива гидроциклона $\mathcal{E}_{н.сл.}$, %, определяется по формуле [10]:

$$\mathcal{E}_{н.сл.} = \frac{C_{исх}^{н.сл.} - C_k^{н.сл.}}{C_{исх}^{н.сл.}} \times 100. \quad (4)$$

Цилиндры 9 и 10 промываются бензолом, а затем водопроводной водой. Описанная выше последовательность действий повторяется ещё пять раз для времени отстаивания 10, 30, 60, 120 и 180 мин. Строятся графики зависимостей $\mathcal{E}_{в.сл.} = f(t)$ и $\mathcal{E}_{н.сл.} = f(t)$ для высоты отстаивания равной $h_1=500$ мм. Затем строятся графики зависимости $\mathcal{E}_{в.сл.} = f(t)$ и $\mathcal{E}_{н.сл.} = f(t)$ для высоты отстаивания равной $h_2=1000$ мм. Для этого жидкость из цилиндров 9 и 10 сливается до отметки «С». Совместно с графиками зависимостей $\mathcal{E}_{в.сл.} = f(t)$ и $\mathcal{E}_{н.сл.} = f(t)$ строится график функции $\mathcal{E}_{ср} = const$. Величина $\mathcal{E}_{ср}$, %, определяется по формуле [10]:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{\bar{C}_{исх} - 10}{\bar{C}_{исх}} \times 100, \quad (5)$$

где $\bar{C}_{исх}$ – среднее значение концентраций нефтепродуктов в пробах воды перед началом отстаивания из верхнего и нижнего сливов гидроциклона мг/л.

Абсциссы точек пересечения графиков функций $\mathcal{E}_{в.сл.} = f(t)$ и $\mathcal{E}_{н.сл.} = f(t)$ с прямой $\mathcal{E}_{ср} = const$ дают два значения времени t_1 для высоты отстаивания 500 мм и t_2 для высоты отстаивания 1000 мм. Время отстаивания T , с, для реального отстойника с высотой отстаивания H , мм, определяется по формуле [10]:

$$T = t_2 \frac{\alpha H \frac{\delta^n}{\delta}}{\delta 1000 \frac{\delta}{\delta}}, \quad (6)$$

где n – показатель степени.

$$n = \frac{\lg t_2 - \lg t_1}{\lg 1000 - \lg 500}. \quad (7)$$

Результаты расчётов для высоты отстаивания $H = 3 \text{ м} = 3000 \text{ мм}$ представлены в табл. 3-3а.

Таблица 3

Результаты определения времени отстаивания

Тип гидроциклона	Тип жидкости	Температура НСВ, С°	Давление, МПа	
			на входе в гидроциклон	на сливах гидроциклона
1	2	3	4	5
ГЦ-40-I	нижний слив гидроциклона	19,9	0,3	0,1
	верхний слив гидроциклона	20,0		

Таблица 3а

Результаты определения времени отстаивания

$\bar{C}_{исх}$, мг/л,	t_1 , мин	t_2 , мин	n	H , мм	T , мин
6	7	8	9	10	11
1473	93	110	0,24	3000	143
4381	107	126	0,23	3000	162

Для нефтесодержащих сточных вод, обработанных в напорном гидроциклоне типа ГЦ-40-I, определено необходимое время отстаивания, которое составило: для нижнего слива гидроциклона 143 минуты, а для верхнего слива гидроциклона 162 минуты.

Заключение

В результате проведенных экспериментальных исследований определен оптимальный тип гидроциклона и технологические параметры его работы при очистке нефтесодержащих сточных вод, а также определено необходимое время отстаивания обработанных в гидроциклоне сточных вод. Результаты исследований использованы при проектировании установки для очистки сточных вод, образующихся при транспортировке и хранении дизельного топлива, производительностью 1,5 м³/ч.

Список библиографических ссылок

1. Бусарев А. В., Селюгин А. С., Урмитова Н. С., Шешегова И. Г. Применение гидроциклонных установок для очистки нефтесодержащих сточных вод промышленных предприятий : сб. тр. VIII международного конгресса «Чистая вода. Казань» / ООО «Новое знание». Казань, 2017. С. 35–40.
2. Адельшин А. А., Адельшин А. Б., Урмитова Н. С. Гидродинамическая очистка нефтепромысловых сточных вод на основе применения закрученных потоков. Казань : КГАСУ, 2011. 245 с.
3. Адельшин А. А., Адельшин А. Б., Гришин Б. М., Бikuнова М. В., Сафонов М. А. Очистка сточных вод нефтепромыслов с применением высокопроизводительных блочно-модульных установок. Пенза : ПГУАС, 2015. 135 с.
4. Nageswararao K., Medronho R. F. Fish hook effect in centrifugal classifiers – a further analysis // International Journal of Mineral Processing. 2014. V. 132. P. 43–58.
5. Dueck I., Farghaly M., Neesse Th. The theoretical partition curve of the hydrocyclone. Minerals Engineering. 2014. V. 62. P. 25–30.
6. Бусарев А. В., Селюгин А. С., Хисамеева Л. Р., Шинкарев Н. О. Некоторые аспекты очистки нефтесодержащих сточных вод, образующихся при хранении горюче – смазочных материалов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. № 12. 2017. С. 223–227.
7. Zhu G., Liow J. L. Experimental study of particle separation and the fish hook effect in a mini hydrocyclone. Chemicae Engineering Science. 2014. V. 111. P. 94–105.

8. Бусарев А. В., Селюгин А. С., Каюмов Ф. Ф. К вопросу очистки поверхностных стоков в гидроциклонных установках // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 10. С. 229–232.
9. Калицун В. И., Ласков Ю. М., Воронов Ю. В., Алексеев Е. В. Лабораторный практикум по водоотведению и очистке сточных вод. М. : Стройиздат, 2000. 272 с.
10. Пономарев В. Г., Иоакимис Э. Г., Монгайт И. Л. Очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов. М. : Химия, 1985. 256 с.

Busarev Andrey Valerevich

candidate of technical science, associate professor

E-mail: reder1@myrambler.ru

Selyugin Aleksandr Sergeevich

candidate of technical science, associate professor

E-mail: a.selyugin@inbox.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Kornilov Aleksandr Denisovich

master of the construction site

E-mail: krnilvsas@yandex.ru

ООО «Repair and construction company»

The organization address: 420066, Russia, Kazan, Bondarenko st., 35

**On the issue of purification of oily waste water generated
in the process of transportation and storage of diesel fuel****Abstract**

Problem statement. The purpose of the study is the treatment of waste water generated during transportation and storage of diesel fuel contaminated with petroleum products and solid suspended solids, according to the technological scheme «hydrocyclone-sump». It is necessary to conduct studies on the treatment of waste water generated during transportation and storage of diesel fuel in pressure hydrocyclones, as well as to determine the necessary settling time of treated wastewater in the pressure hydrocyclone.

Results. The main results of the study are to determine the most effective pressure hydrocyclone for the treatment of oily waste water generated during the pumping and storage of diesel fuel, and to determine the necessary settling time for the design of sedimentation tanks. The research results were used in the design of the plant for the treatment of oily waste water generated during the pumping and storage of diesel fuel.

Conclusions. The significance of the results for the construction industry is to determine the type of hydrocyclone and the technological parameters of its operation in the treatment of oily waste water, as well as determining the required settling time of treated wastewater in the hydrocyclone.

Keywords: oily waste water, treatment, hydrocyclone, experimental installation, research methods, processing of results.

References

1. Busarev A. V., Selyugin A. S., Urmitova N. S., Sheshegova I. G. The use of hydrocyclone plants for the cleaning of industrial enterprise oily waste water. : proceedings of the VIII international congress «Pure water. Kazan» / ООО «Novoe Znaniye». Kazan, 2017. P. 35–40.
2. Adelshin A. A., Adelshin A. B., Urmitova N. S. Hydrodynamic cleaning of oilfield sewage based on the use of swirling flows. Kazan : KGASU, 2011. 245 p.

3. Adelshin A. A., Adelshin A. B., Grishin B. M., Bicunova M. V., Safonov M. A. Purification of waste waters of oil fields with the use of high performance block-modular installations. Penza : PGUAS, 2015. 135 p.
4. Nageswararao K., Medronho R. F. Fish hook effect in centrifugal classifiers – a further analysis // International Journal of Mineral Processing. 2014. V. 132. P. 43–58.
5. Dueck I., Farghaly M., Neesse Th. The theoretical partition curve of the hydrocyclone. Minerals Engineering. 2014. V. 62. P. 25–30.
6. Busarev A. V., Selyugin A. S., Khisameeva L. R., Shinkarev N. O. Some aspects of treatment of oily waste water generated during storage of fuels and lubricants // international journal of applied and fundamental research. № 12. 2017. P. 223–227.
7. Zhu G., Liow J. L. Experimental study of particle separation and the fish hook effect in a mini hydrocyclone. Chemicæ Engineering Science. 2014. V. 111. P. 94–105.
8. Busarev A. V., Selyugin A. S., Kayumov F. F. On the issue of cleaning surface runoff in hydrocyclone installations // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. 2016. № 10. P. 229–232.
9. Kalitsun V. I., Laskov Yu. M., Voronov Yu. V., Alekseyev Ye. V. Laboratory workshop on wastewater disposal and treatment. M. : Stroyizdat, 2000. 272 p.
10. Ponomarev V. G., Ioakimis Z. G., Mongajt I. L. Waste water treatment of oil refineries. M. : Chemistry. 1985. 256 p.