



УДК 628.3

Бусарев Андрей Валерьевич

кандидат технических наук, доцент

Email: reder100@rambler.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

Лисенков Руслан Альбертович

инженер производственно-технического отдела

Email: krojluk35@gmail.com

Муниципальное унитарное предприятие «Водоканал» г. Казани

Адрес организации: 420087, Россия, г. Казань, ул. Родины, д. 9

Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий железнодорожного транспорта методом напорной флотации

Аннотация

Постановка задачи. На многих промышленных предприятиях образуются нефтесодержащие сточные воды, загрязненные нефтепродуктами и твердыми взвешенными веществами. Одним из методов очистки нефтесодержащих сточных вод является напорная флотация.

Целью работы является исследование эффективности очистки производственных стоков предприятий железнодорожного транспорта методом напорной флотации.

Задачи исследования:

- изучение очистки нефтесодержащих сточных вод при добавлении реагентов;
- изучение очистки нефтесодержащих сточных вод при увеличении давления в сатураторе;
- изучение очистки нефтесодержащих сточных вод при изменении времени пребывания жидкости в сатураторе.

Результаты. Основные результаты исследований состоят в определении эффективности очистки нефтесодержащих сточных вод с использованием напорной флотации. Проведенные на экспериментальной установке исследования показали достаточно высокую эффективность применения флотаторов с горизонтальным движением жидкости для очистки нефтесодержащих сточных вод.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в возможности использования разработанной технологии очистки нефтесодержащих сточных вод с использованием напорной флотации на предприятиях по ремонту подвижного состава железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: нефтесодержащие сточные воды, загрязнение нефтепродуктами, очистка, напорная флотация, экспериментальная установка, исследования.

Для цитирования: Бусарев А. В., Селюгин А. С., Лисенков Р. А. Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий железнодорожного транспорта методом напорной флотации // Известия КГАСУ. 2021. № 2 (56). С. 76–83. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_76.

1. Введение

На многих производственных объектах формируются нефтесодержащие сточные воды (НСВ), в которых имеются нефть и твердая взвесь. НСВ обычно после локальной очистки направляются в системы оборотного водопользования производственных предприятий. Это не только решает экологические проблемы, но и сокращает забор воды производственными объектами из поверхностных источников или водопроводных систем [1]. Значительное количество НСВ возникает на нефтяных месторождениях при обработке сырой нефти. НСВ, формирующиеся при нефтеподготовке, содержат нефть, взвесь, а также

значительное количество солей. После очистки они закачиваются в нагнетательные скважины для увеличения коэффициента нефтеотдачи нефтепромыслов [2, 3].

НСВ возникают в котельных производственных объектов, работающих на мазуте, при охлаждении различных агрегатов, при выпадении атмосферных осадков [4]. На транспорте также формируется значительное количество НСВ: в автохозяйствах образуются стоки от мойки автомобилей. На речных и морских судах формируются льяльные воды, загрязненные нефтепродуктами и взвешенными веществами [5].

На железных дорогах в депо формируются нефтесодержащие стоки. Казанским государственным архитектурно-строительным университетом (КГАСУ) в локомотивном депо «Юдино» Горьковской железной дороги было установлено, что концентрация нефтепродуктов в производственных сточных водах составляет 1,5-3 г/л, а взвеси достигает 0,2-2 г/л. Расход производственных стоков в ремонтных депо не превышает 3-10 м³ на 1 т обработанных деталей [6].

Для обработки НСВ, образующихся на предприятиях железнодорожного транспорта, применяются механические, физико-химические и биологические методы очистки [1, 6]. К механическим методам относится воздействие сил гравитации, а также центробежное воздействие. Доочистка нефтесодержащих стоков производится фильтрованием в аппаратах различных конструкций [7-10]. Процеживанием в решетках из нефтесодержащих сточных вод удаляются крупные плавающие отбросы. Методом отстаивания из нефтесодержащих стоков извлекаются загрязнения в песколовках, отстойниках (в т. ч. в полочных), а также в нефтеловушках горизонтальных и многоярусных с полочными блоками [1, 6, 7]. В центробежном поле нефтесодержащие сточные воды обрабатываются в центрифугах, открытых и напорных гидроциклонах [11-14]. Работа отстойников может быть интенсифицирована установкой в них коалесцирующих насадок [15]. Физико-химическая очистка НСВ включает коагуляцию, сорбцию, флотацию, а также ультрафильтрацию. Биологическая очистка НСВ осуществляется в мембранных биореакторах, а их глубокая очистка от нефтепродуктов – в биологических прудах [1].

В КГАСУ создан аппарат для очистки производственных нефтесодержащих стоков, образующихся в железнодорожных ремонтных депо. Он изображен на рис. 1.

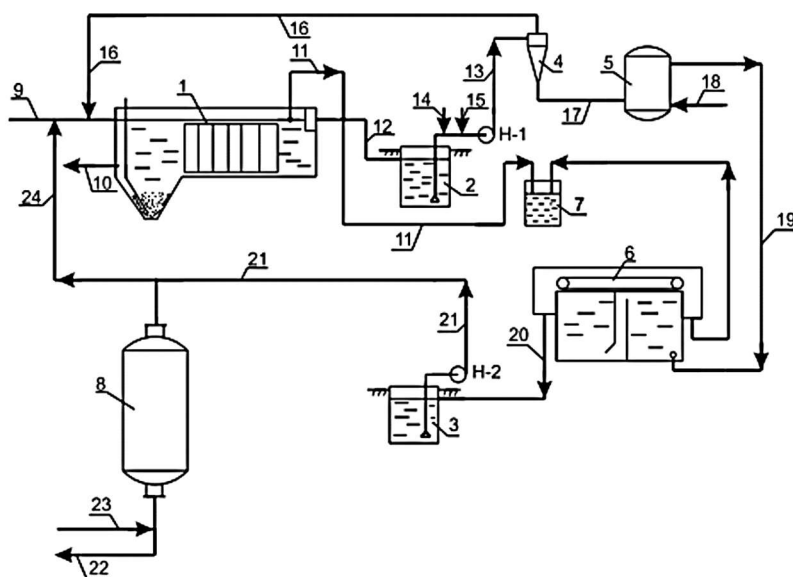


Рис. 1. Технология обработки НСВ предприятий железнодорожного транспорта:
1 – полочная нефтеловушка; 2, 3 – резервуары; 4 – гидроциклонный аппарат;
5 – напорная емкость; 6 – флотатор; 7 – резервуар для нефти; 8 – скорый фильтр
(иллюстрация авторов)

Данная установка включает тонкослойную нефтеловушку 1, промежуточные резервуары 2 и 3, гидроциклонную установку 4, сатураторы 5, флотаторы 6, резервуар для уловленных нефтепродуктов 7, скорые напорные фильтры 8 с двухслойной зернистой

загрузкой, соединительные линии, насосы, а также задвижки и клапаны. НСВ подаются на обработку в нефтеловушку 1 по линии 9. Осадок, образующийся в нефтеловушке, удаляется под гидростатическим давлением по трубопроводу 10. Нефтепродукты, всплывшие в нефтеловушке, попадают по линии 11 в резервуар 7. НСВ по линии 12 самотеком поступают в резервуар 2, из которой насосом Н-1 по линии 13 подаются в аппарат 4. По линии 14 на всас насоса Н-1 подается коагулянт $Al_2(SO_4)_3$, а по линии 15 подается раствор полиакриламида.

Аппарат 4 состоит из нескольких элементарных гидроциклонов, разработанных в КГАСУ. В гидроциклонах возникает центробежное поле, ввиду тангенциального ввода жидкости в их корпуса. Нефтепродукты собираются в центральной части корпуса и выносятся восходящим потоком через верхние сливные отверстия. Верхний слив гидроциклонов под избыточным давлением по линии 16 поступает в нефтеловушку 1. Очищенная вода из гидроциклонов под избыточным давлением по линии 17 поступает в напорную емкость 5, куда по воздухопроводу 18 компрессором подается воздух. Давление в емкости 5 достигает 3-5 кгс/см². Водовоздушная смесь по трубопроводу 19 поступает во флотаторы с горизонтальным движением жидкости. Во флотаторе 6 имеется два отделения: флотокамера и секция отстаивания [8]. Очищенная вода из флотатора по трубопроводу 20 отводится в емкость 3, из которой насосом Н-2 по трубопроводу 21 подается на доочистку в фильтры 8. Очищенная вода отводится из установки по трубопроводу 22. Для регенерации загрузки фильтров 6 в них по трубопроводу 23 подается вода на промывку. Загрязненная промывная вода по трубопроводу 24 отводится в нефтеловушку 1.

В данной установке концентрация нефти в НСВ уменьшается с 1500-3000 мг/л до 5-10 мг/л, а взвешенных веществ – с 200-500 мг/л до 5-10 мг/л.

Доочистка НСВ от нефтепродуктов происходит в напорных адсорбционных фильтрах с загрузкой из активированных древесных углей или в мембранной ультрафильтрационной установке.

Целью работы является исследование эффективности очистки производственных стоков предприятий железнодорожного транспорта методом напорной флотации. Задачи исследования: 1) изучение очистки нефтесодержащих сточных вод при добавлении реагентов; 2) изучение очистки нефтесодержащих сточных вод при увеличении давления в сатураторе; 3) изучение очистки нефтесодержащих сточных вод при изменении времени пребывания жидкости в сатураторе.

2. Материалы и методы

В КГАСУ исследовались процессы обработки НСВ, образующихся в железнодорожных депо, в напорном флотаторе с горизонтальным движением жидкости. Для этих целей использовалась экспериментальная установка, схема которой приведена на рис. 2. В состав данной установки входят: резервуар для исходной воды 1, напорная емкость 2, флотатор 3, трубопроводы, насосы, запорная арматура и система контрольно-измерительных приборов.

Водопроводная вода по линии 4 поступает в резервуар 1, из которого исходная жидкость насосом по линии 5 подается в напорную емкость 2, в которую по воздухопроводу 6 подается сжатый воздух. Смесь воды и воздуха по линии 7 поступает в установку 3. Очищенная НСВ отводится в канализацию по трубопроводу 8. Всплывшие нефтепродукты удаляются из флотатора 3 по трубопроводу 9. На трубопроводе 5 установлен расходомер Р-1 и манометр М-1, по которому определяется давление в сатураторе 2.

Исходная вода отбирается из пробоотборника ПР-1, установленного на трубопроводе 7. Очищенная вода отбирается из пробоотборника ПР-2, которым оборудован трубопровод 8. По линии 10 на всас насоса Н-1 подаются стоки, загрязненные взвесью и нефтепродуктами. По линии 11 на всас насоса Н-1 подается раствор $Al_2(SO_4)_3$, а по линии 12 – раствор ПАА.

Время пребывания жидкости во флотационной и отстойной камерах флотатора 3 составляет 0,33 ч.

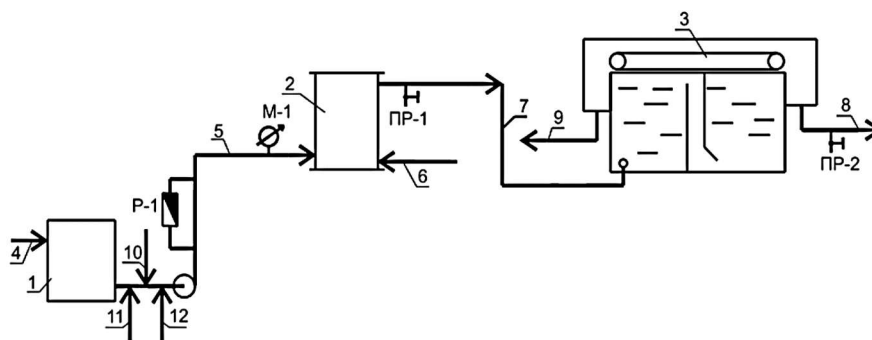


Рис. 2. Установка очистки в напорных флотаторах:

1 – резервуар для исходной воды; 2 – напорная емкость; 3 – флотатор (иллюстрация авторов)

Температура НСВ измерялась спиртовым термометром с ценой деления 0,1 °С. Концентрация взвеси в воде определялась объемным методом. Для определения содержания нефтепродуктов в воде использовался фотокалориметрический метод.

Эффект очистки НСВ от нефтепродуктов \mathcal{E}_n , %, определялся по формуле:

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

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

3. Результаты и обсуждение

Опытные данные, полученные в КГАСУ, представлены в табл.

Таблица

Результаты исследований

| № п/п | Реагенты | Температура стоков, °С | Давление в сатураторе, МПа | Концентрация взвешенных веществ, мг/л | | Концентрация нефтепродуктов, мг/л | | Время пребывания воды в сатураторе, мин | Эффект очистки от нефтепродуктов, \mathcal{E}_n , % | |
|-------|--------------|------------------------|----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|---|---|----|
| | | | | в воде, поступающей во флотатор | в воде на выходе из флотатора | в воде поступающей во флотатор | в воде на выходе из флотатора | | | |
| 1 | | 20,1 | 0,3 | 33 | 24 | 113 | 36 | 1 | 68 | |
| | | | | 25 | 17 | 97 | 32 | | 67 | |
| | | 19,8 | | 29 | 23 | 126 | 38 | | 2 | 70 |
| 2 | Приеутствуют | 20,0 | 0,4 | 21 | 18 | 107 | 33 | 2 | 69 | |
| | | | | 31 | 24 | 118 | 32 | | 3 | 73 |
| | | 20,2 | | 27 | 20 | 110 | 30 | | | 73 |
| 3 | | 20,3 | 0,5 | 26 | 19 | 127 | 38 | 1 | 70 | |
| | | | | 24 | 18 | 119 | 37 | | 2 | 69 |
| | | 19,7 | | 23 | 16 | 132 | 34 | | | 74 |
| 4 | Отсутствуют | 19,9 | 0,4 | 29 | 22 | 124 | 33 | 2 | 73 | |
| | | | | 30 | 22 | 110 | 26 | | 3 | 76 |
| | | 20,1 | | 27 | 20 | 122 | 30 | | | 75 |
| 3 | | 20,3 | 0,5 | 35 | 25 | 128 | 33 | 1 | 74 | |
| | | | | 26 | 19 | 131 | 34 | | 2 | 74 |
| | | 20,1 | | 27 | 20 | 137 | 34 | | | 75 |
| 4 | | 19,8 | 0,4 | 28 | 21 | 126 | 32 | 2 | 75 | |
| | | | | 22 | 16 | 99 | 22 | | 3 | 78 |
| | | 19,9 | | 25 | 19 | 114 | 26 | | | 77 |
| 4 | | 19,8 | 0,4 | 35 | 25 | 125 | 46 | 1 | 63 | |
| | | | | 29 | 22 | 133 | 51 | | 2 | 62 |
| | | 20,2 | | 28 | 21 | 116 | 42 | | | 64 |
| 4 | | 19,9 | 0,4 | 24 | 18 | 127 | 46 | 2 | 64 | |
| | | | | 25 | 19 | 107 | 36 | | 3 | 66 |
| | | 19,9 | | 33 | 24 | 123 | 43 | | | 65 |

Исследования проводились:

- без добавления и с добавлением реагентов (коагулянтов и флокулянтов);
- давление в сатураторе изменялось от 0,3 до 0,5 МПа;
- время пребывания жидкости в сатураторе составляло от 1 до 3 минут;
- температура жидкости на входе во флотатор составляла +19,7...+20,3⁰С.

Концентрация взвешенных веществ в воде, поступающей во флотатор, составляла 21-35 мг/л, а в воде на выходе из флотатора 16-25 мг/л, что подтверждает эффективность флотации прежде всего в процессах удаления плавающих веществ: нефтепродуктов, жиров, масел и др.

Концентрация нефтепродуктов в воде, поступающей во флотатор, составляла 97-137 мг/л, а в воде на выходе из флотатора – 22-51 мг/л. При добавлении в сточную воду реагентов (коагулянтов и флокулянтов) концентрация нефтепродуктов в воде на выходе из флотатора составляла 22-38 мг/л, а без добавления реагентов концентрация нефтепродуктов в воде на выходе из флотатора составляла 36-51 мг/л. Таким образом, добавление в сточную воду реагентов повышает эффективность работы установки напорной флотации.

По данным работы [6], опыт эксплуатации установок напорной флотации на различных железнодорожных предприятиях показал, что после флотационной очистки концентрация нефтепродуктов в сточной воде снижается до 20-50 мг/л. Это в достаточной мере согласуется с полученными экспериментальными данными.

4. Заключение

1. Эффект очистки от нефтепродуктов без добавления реагентов составляет 62-66 %.
2. Изучение очистки нефтесодержащих сточных вод при добавлении в сточную воду реагентов (коагулянтов и флокулянтов) показало, что при этом эффект очистки от нефтепродуктов увеличивается до 69-75 %.
3. Изучение очистки нефтесодержащих сточных вод при увеличении давления в сатураторе показало, что эффект очистки от нефтепродуктов возрастает с 67-68 % до 74-78 %, но рекомендуемое давление в сатураторе не должно превышать 0,4 МПа.
4. Изучение очистки нефтесодержащих сточных вод при изменении времени пребывания жидкости в сатураторе показало, что эффективность работы флотационной установки повышается незначительно (на 3-5 %), рекомендуемое время пребывания жидкости в сатураторе 2 минуты. Таким образом, применение напорных флотаторов с горизонтальным движением жидкости для очистки производственных сточных вод предприятий железнодорожного транспорта является достаточно эффективным методом для применения в вагонных и локомотивных депо.

Список библиографических ссылок

1. Кичигин В. И. Водоотводящие системы промышленных предприятий. М. : ЛитРес, 2016. 657 с.
2. Миронов Е. А. Закачка сточных вод нефтяных месторождений в продуктивные и поглощающие горизонты. М. : Недра, 1976. 169 с.
3. Sheshhegova I., Busarev A. Wastewater treatment plant for the preparation of industrial water for waterflooding of oil reservoirs using pressure hydrocyclones // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 890. P. 012155. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012155.
4. Алексеев М. И., Курганов А. М. Организация отведения поверхностного (дождевого и талого) стока с урбанизированных территорий. М. : АСВ, 2000. 352 с.
5. Решняк В. И. Организация очистки нефтесодержащей подсланевой воды при эксплуатации судов // Журнал университета водных коммуникаций. 2017. № 1 (13). С. 150–153.
6. Дикаревский В. С., Караваев Н. И., Краснянский И. И. Канализационные очистные сооружения железнодорожного транспорта. М. : Транспорт. 1973. 283 с.

7. Пономарев В. Г. Процессы разделения суспензий сточных вод. Конструкции сооружений. М. : АСВ, 2015. 228 с.
8. Verma S., Daverey A., Sharma A. Wastewater treatment by slow sand filters using uncoated and iron-coated fine sand: Impact of hydraulic loading rate and media depth // Environmental Science and Pollution Research. 2019. Vol. 26. Iss. 33. P. 34148–34156. DOI: 10.1007/s11356-018-3551-4.
9. Lee J., Lee M. Stormwater runoff treatment filtration system and backwashing system // Water Science and Technology. 2019. Vol. 79. Iss. 4. P. 771–778. DOI: 10.2166/wst.2019.097.
10. Krahnstöver T., Zenker A., Baggenstos M., Kobler B., Leikam K., Koch G., Wintgens T. Characterizing solids retention, head loss development and micropollutant removal in the case of direct powdered activated carbon dosage upstream of deep bed filtration // Environmental Science: Water Research and Technology. 2019. Vol. 5. Iss. 12. P. 2172–2181. DOI: 10.1039/c9ew00658c.
11. Башаров М. М., Сергеева О. А. Устройство и расчет гидроциклонов. Казань : Вестфалика, 2012. 92 с.
12. Sriyono K. R., Butarbutar S. L., Salimy D. H., Febrianto, Irianto I. D., Sunaryo G. R. Analysis of hydrocyclone as river water pre-treatment for tertiary coolant of RDE // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1198. Iss. 2. P. 345–356. DOI: 10.1088/1742-6596/1198/2/022040.
13. Yu J., Fu J. Separation performance of an 8 mm mini-hydrocyclone and its application to the treatment of rice starch wastewater // Separation Science and Technology (Philadelphia). 2020. Vol. 55. Iss. 2. P. 313–320. DOI: 10.1080/01496395.2019.1565772.
14. Yang X., Simmons M. J. H., Liu P., Zhang Y., Jiang L. Effect of feed body geometry on separation performance of hydrocyclone // Separation Science and Technology (Philadelphia). 2019. Vol. 54. Iss. 17. P. 2959–70. DOI: 10.1080/01496395.2018.1548486.
15. Urmitova N., Abitov R., Nizamova A. Oil-containing wastewater treatment by means of using coarse-grained coalescing filtering materials // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 890. P. 012151. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012151.

Busarev Andrey Valerevich

candidate of technical science, associate professor

Email: reder100@rambler.ru

Selyugin Aleksandr Sergeevith

candidate of technical science, associate professor

Email: a.selyugin@inbox.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

Lisenkov Ruslan Albertovich

engineer of the production and technical department

Email: kpojluk35@gmail.com

Municipal unitary enterprise «Vodokanal» of Kazan

The organization address: 420087, Russia, Kazan, Rodina st., 9

**Oil-containing wastewater treatment of railway transport enterprises
by pressure flotation method****Abstract**

Problem statement. Many industrial plants produce oily wastewater contaminated with petroleum products and suspended solids. One of the methods of oil-containing wastewater treatment is pressure flotation. The purpose of the work is to study the efficiency of cleaning industrial effluents of railway transport enterprises by the pressure flotation method. Research objectives:

1) study of the purification of oily wastewater with the addition of reagents;

2) study of the purification of oily wastewater with an increase in pressure in the saturator;

3) study of the purification of oily wastewater with a change in the residence time of the liquid in the saturator.

Results. The main results of the research are to determine the efficiency of oil-containing wastewater treatment using pressure flotation. The studies carried out at the experimental installation showed sufficiently high efficiency of using flotations with a horizontal fluid movement for the treatment of oily wastewater.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry lies in the possibility of using the developed technology for the treatment of oily wastewater using pressure flotation at enterprises that repair railway rolling stock

Keywords: oil-containing wastewater, oil product contamination, treatment, pressure flotation, experimental installation, research.

For citation: Busarev A. V., Selyugin A. S., Lisenkov R. A. Oil-containing wastewater treatment of railway transport enterprises by pressure flotation method // *Izvestija KGASU*. 2021. № 2 (56). P. 76–83. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_76.

References

1. Kichigin V. I. Drainage systems of industrial enterprises. M. : LitRes, 2016. 657 p.
2. Mironov E. A. Injection of waste water from oil fields into productive and absorbing horizons. M. : Nedra, 1976. 169 p.
3. Sheshegova I., Busarev A. Wastewater treatment plant for the preparation of industrial water for waterflooding of oil reservoirs using pressure hydrocyclones // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020. № 890. P. 012155. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012155.
4. Alekseev M. I., Kurganov A. M. Organization of surface (rain and snowmelt) runoff removal from urbanized territories. M. : ASV, 2000. 352 p.
5. Reshnyak V. I. Organization of treatment of oil-containing subshell water during the operation of ships // *Zhurnal universiteta vodnykh kommunikatsiy*. 2017. № 1 (13). P. 150–153.
6. Dikarevskiy V. S., Karavayev N. I., Krasnyanskiy I. I. Sewage treatment plants of railway transport. M. : Transport. 1973. 283 p.
7. Ponomarev V. G. Processes of separation of wastewater suspensions. Structures of structures. M. : ASV, 2015. 228 p.
8. Verma S., Daverey A., Sharma A. Wastewater treatment by slow sand filters using uncoated and iron-coated fine sand: Impact of hydraulic loading rate and media depth // *Environmental Science and Pollution Research*. 2019. Vol. 26. Iss. 33. P. 34148–34156. DOI: 10.1007/s11356-018-3551-4.
9. Lee J., Lee M. Stormwater runoff treatment filtration system and backwashing system // *Water Science and Technology*. 2019. Vol. 79. Iss. 4. P. 771–778. DOI: 10.2166/wst.2019.097.
10. Krahnstöver T., Zenker A., Baggenstos M., Kobler B., Leikam K., Koch G., Wintgens T. Characterizing solids retention, head loss development and micropollutant removal in the case of direct powdered activated carbon dosage upstream of deep bed filtration // *Environmental Science: Water Research and Technology*. 2019. Vol. 5. Iss. 12. P. 2172–2181. DOI: 10.1039/c9ew00658c.
11. Basharov M. M., Sergeeva O. A. Device and calculation of hydrocyclones. Kazan : Vestfalika, 2012. 92 p.
12. Sriyono K. R., Butarbutar S. L., Salimy D. H., Febrianto, Irianto I. D., Sunaryo G. R. Analysis of hydrocyclone as river water pre-treatment for tertiary coolant of RDE // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1198. Iss. 2. P. 345–356. DOI: 10.1088/1742-6596/1198/2/022040.
13. Yu J., Fu J. Separation performance of an 8 mm mini-hydrocyclone and its application to the treatment of rice starch wastewater // *Separation Science and Technology (Philadelphia)*. 2020. Vol. 55. Iss. 2. P. 313–320. DOI: 10.1080/01496395.2019.1565772.

14. Yang X., Simmons M. J. H., Liu P., Zhang Y., Jiang L. Effect of feed body geometry on separation performance of hydrocyclone // Separation Science and Technology (Philadelphia). 2019. Vol. 54. Iss. 17. P. 2959–70. DOI: 10.1080/01496395.2018.1548486.
15. Urmitova N., Abitov R., Nizamova A. Oil-containing wastewater treatment by means of using coarse-grained coalescing filtering materials // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 890. P. 012151. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012151.