



DOI: 10.52409/20731523_2022_1_103
УДК 628.16

Исследование процессов глубокой очистки сточных вод с применением скорых напорных фильтров

А.В.Бусарев¹ И.Г.Шешегова¹, И.Д.Мамаков²

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань,
Российская Федерация

²ООО «Евро Акцент Саба», г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: очистка сточных вод от нефтепродуктов в последние годы становится все более актуальной задачей. На многих промышленных предприятиях образуются нефтесодержащие сточные воды, которые могут стать причиной загрязнения природных источников нефтепродуктами. В связи с этим сточные воды должны подвергаться очистке для снижения концентрации нефтепродуктов до нормативных показателей. Исследования процессов очистки сточных вод от нефтепродуктов имеют научную актуальность, поскольку позволяют решать проблемы защиты окружающей среды. Одним из методов глубокой очистки стоков от нефтепродуктов является фильтрование. Наиболее эффективно очистка воды от нефтепродуктов осуществляется в скорых напорных фильтрах.

Целью исследований очистки воды от нефтепродуктов методом фильтрования является изучение эффективности различных видов зернистой загрузки скорых напорных фильтров, а также определение технологических параметров фильтрования.

Задачами исследований являются:

- изучение процессов очистки нефтесодержащих стоков в скорых напорных фильтрах с различной зернистой загрузкой;
- определение оптимальной скорости фильтрования;
- определение влияния давления в скорых напорных фильтрах на эффективность очистки;
- исследование применения различных методов регенерации фильтрующей загрузки на эффективность очистки.

Основные результаты исследований состоят в том, что выбран вид наиболее эффективной зернистой загрузки, определены рекомендованные скорости фильтрования, а также давление в скорых напорных фильтрах для очистки нефтесодержащих сточных вод. Проведенные исследования показали достаточно высокую эффективность очистки нефтесодержащих сточных вод в скорых напорных фильтрах с зернистой загрузкой.

Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в определении наиболее эффективной фильтрующей зернистой загрузки, а также технологических параметров очистки сточных вод от нефтепродуктов в скорых напорных фильтрах. Лучший результат (эффект очистки 75-81%) показала двухслойная зернистая загрузка из антрацита и кварцевого песка. Скорость фильтрования в скорых фильтрах рекомендуется поддерживать в пределах 6-7 м/ч, интенсивность подачи промывной воды при регенерации не менее 14 л/(с·м²).

Ключевые слова: очистка сточных вод от нефтепродуктов, глубокая очистка сточных вод, очистка методом фильтрования, фильтрующая загрузка, скорость фильтрования, регенерация загрузки скорых напорный фильтр

Для цитирования: А.В. Бусарев И.Г. Шешегова, И.Д. Мамаков. Исследование процессов глубокой очистки сточных вод с применением скорых напорных фильтров//Известия КГАСУ 2022, №1(59). С 103-112. DOI: 10.52409/20731523_2022_1_103

Study of deep wastewater treatment processes using high-pressure filters

A.V.Busarev¹, I.G.Sheshegova¹, I.D. Mamakov²

¹Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

²LLC «Euro Accent Saba», Kazan, Russian Federation

Abstract: problem statement. Many industrial plants generate oily wastewater. Filtration is one of the methods of deep purification of these effluents from oil products. The most effective purification from oil products is carried out in high-pressure filters. The purpose of the research on water purification from oil products by the filtration method is to study the effectiveness of various types of granulated loading of high-pressure filters, as well as to determine the technological parameters of filtration. Research objectives:

- study of the processes of purification of oily wastewater in high-pressure filters with different granulated loading;
- determination of the optimal filtration rate;
- determination of the influence of pressure in high-pressure filters on the cleaning efficiency;
- study of the application of various methods of regeneration of the filtering load for the cleaning efficiency;

Results. The main results of the research are that the type of the most effective granulated loading was chosen, the recommended filtration rates were determined, as well as the pressure in the high-pressure filters for oily wastewater treatment. The conducted studies have shown a rather high efficiency of cleaning oily wastewater high-pressure filters with a granulated load. **Conclusions.** The significance of the obtained results for the construction industry lies in determining the most effective filtering granulated load, as well as the technological parameters of wastewater treatment from oil products in high-pressure filters. The best result (cleaning effect 75-81%) was shown by a two-layer granulated loading of anthracite and quartz sand. The filtration rate in high-pressure filters is recommended to be maintained within 6-7 m/h, the intensity of the wash water supply during regeneration is at least 14 l/s·m².

Keywords: wastewater treatment from oil products, methods of wastewater treatment from oil products, sorption, sorbents for purification of water from oil products, adsorption filter.

For citation: A.V.Busarev, I.G.Sheshegova, I.D. Mamakov Study of deep wastewater treatment processes using high-pressure filters//News KSUAE 2022, №1 (59). С 103-112.

DOI: 10.52409/20731523_2022_1_103

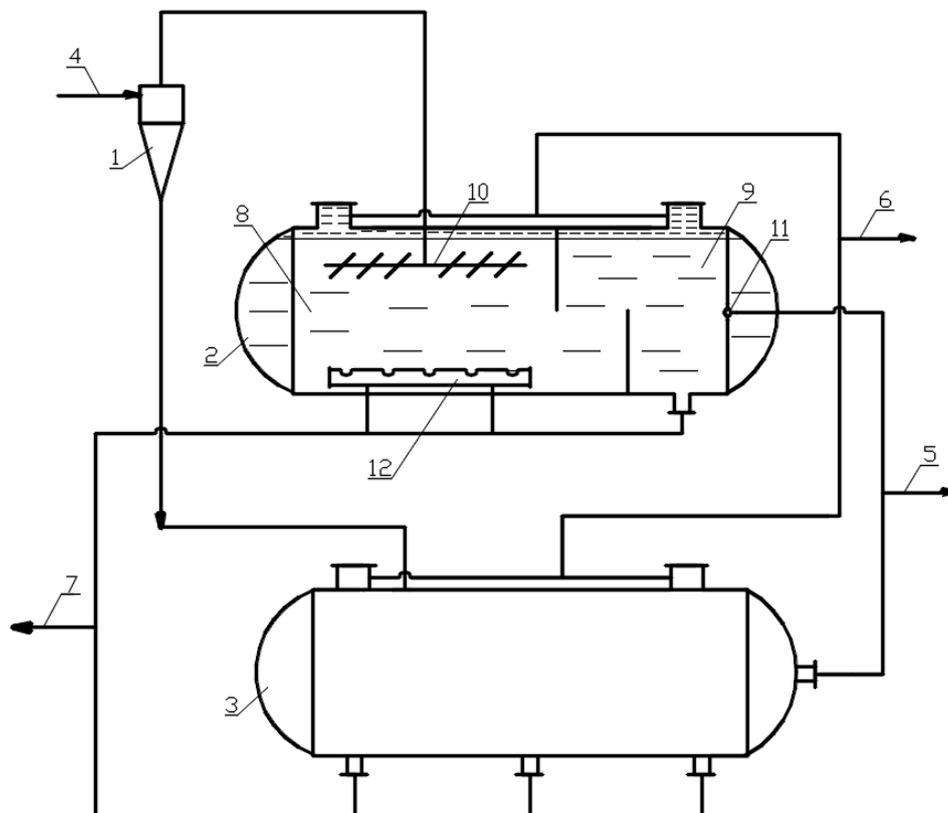
1. Введение

При нефтедобыче в Российской Федерации формируются нефтесодержащие сточные воды (НСВ). Из-за их загрязненности они закачиваются обратно в нефтеносные пласты для повышения коэффициента нефтеотдачи [1-4]. Перед закачкой НСВ в нефтеносные пласты производится их обработка: удаление из стоков взвеси и нефтепродуктов [1, 3].

Обработка НСВ осуществляется в отстойниках различных конструкций [5-8]. Также для подготовки нефтепромысловых стоков используются напорные гидроциклоны [9-12]. В Казанском государственном архитектурно-строительном университете (КГАСУ) разработан аппарат типа блок гидроциклон-отстойник (БГО) [13-16]. В этом устройстве концентрация нефтепродуктов в НСВ уменьшается с 3 г/л до 0,05-0,06 г/л, а взвеси – с 0,2 г/л до 0,05 г/л [13-16]. В устройства типа БГО входят напорные гидроциклоны и отстойники различных конструкций (одно и двухкомпонентные, напорные и работающие в самотечном режиме. Горизонтальные и вертикальные).

На рис. 1 представлена двухкомпонентная установка типа БГО с горизонтальными отстойниками, работающими в напорном режиме. НСВ подаются на очистку в батарею напорных гидроциклонов под избыточным давлением. Отстойники верхнего и нижнего

сливов, которые имеют одинаковую конструкцию, работают под давлением на 0,2 МПа ниже, чем давление на входе в гидроцилоны.



1 – гидроциклоны; 2 – отстойник верхнего слива; 3 – отстойник нижнего слива; 4 – подача воды на очистку; 5 – отвод очищенной воды; 6 – отвод уловленных нефтепродуктов; 7 – отвод выпавшего осадка; 8, 9 – отстойные камеры; 10 – водораспределительная система; 11 – система сбора очищенной воды; 12 – система сбора осадка

Рис. 1. Аппарат типа БГО (иллюстрация авторов)

В отстойнике выделены специальные отсеки, где всплывает нефть и осаждаются взвешенные вещества. В отсеках 8 размещаются водораспределители, представляющие собой коллекторы с двойными перфорированными ответвлениями. В отсеках 9 имеются водосборники, которые включают в себя перфорированные трубопроводы. Осадок собирается в отсеках 8 и 9 с помощью специальной системы, которая представляет собой перфорированный трубопровод. При обработке нефтесодержащих стоков в гидроциклонах наблюдается очистка воды от нефти, разрушение бронирующих оболочек вокруг капель внутренней фазы. А также повышение монодисперсности эмульсий типа «нефть в воде». Все это способствует последующей очистке НСВ методом отстаивания [13-15]. Для интенсификации процессов очистки НСВ в отстойных аппаратах БГО устанавливаются специальные насадки, в которых происходит коалесценция мелких частиц внутренней фазы. Это способствует повышению эффектов очистки НСВ в данных аппаратах [14, 16, 17].

Еще одной разновидностью аппаратов БГО является установки БГКО [14]. За счет энергии остаточного закручивания потока в цилиндрических камерах, установленных на сливах напорных гидроциклонов происходит возрастание эффективности работы отстойников, входящих в данную установку.

Для снижения концентрации нефти в НСВ до 0,01г/л рекомендуется глубокая очистка этих стоков в фильтрах (с зернистой загрузкой, каркасно-засыпных, с плавающей загрузкой) [18-21].

Целью исследований очистки воды от нефтепродуктов методом фильтрования является изучение эффективности различных видов зернистой загрузки скорых напорных фильтров, а также определение технологических параметров фильтрования.

Задачи исследований:

- изучение процессов очистки нефтесодержащих стоков в скорых напорных фильтрах с различной зернистой загрузкой;
- определение оптимальной скорости фильтрования;
- определение влияния давления в скорых напорных фильтрах на эффективность очистки;
- исследование применения различных методов регенерации фильтрующей загрузки на эффективность очистки.

2. Материалы и методы

В Казанском государственном архитектурно-строительном университете на опытно-экспериментальной установке (рис. 2) проводилось изучение обработки НСВ методом фильтрования. В данную опытную установку входят резервуар 1 объемом 1,75 м³, модель скорого напорного фильтра 2 диаметром 150 мм, насосное оборудование, соединительные линии, вентили, клапаны и задвижки, контрольно-измерительные приборы (КИП).

Гранулометрический состав загрузки скорого фильтра определялся с помощью ситового отсева согласно рекомендациям, ГОСТ 12536-2014 «Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава».

По линии 3 резервуар 1 наполняется НСВ. В фильтр 2 НСВ поступает на очистку по линии 4. Во всасывающий трубопровод насоса Н-1 по линии 5 поступает нефть. Товарная нефть с электрообезвоживающей установки №3 (ЭЛОУ-3) НГДУ «Бавлынефть» ПАО «Татанефть» (плотность при +20°С 0,885 г/см³, вязкость 2,51×10⁻¹ см²/с) дозировалась с помощью насоса-дозатора. Очищенные стоки по линии 6 возвращаются в резервуар 1. НСВ из фильтра 2 по линии 7 при аварийной ситуации сбрасываются в производственную канализацию.

Контроль за расходом НСВ поступающих на фильтр 2 осуществляется расходомером Р-1, а давление на входе в этот аппарат контролируется манометром М-1. Из пробоотборника ПР-1 отбирается исходная НСВ. Манометр М-2 измеряет остаточное давление, а пробоотборник ПР-2 служит для определения загрязнений в очищенной воде.

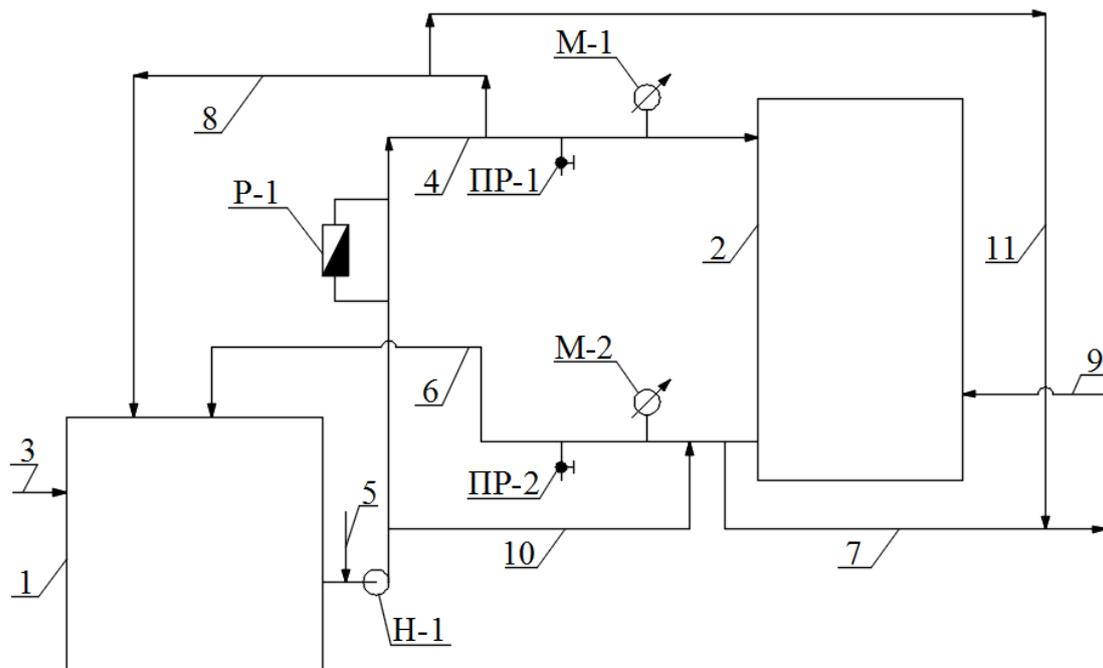


Рис. 2. Опытно-экспериментальная установка (иллюстрация авторов)

Линия 9 обеспечивает подачу в фильтр 2 сжатого воздуха от воздухоудвки. По линии 10 в фильтр 2 из резервуара 1 поступает вода на промывку. Промывные стоки сбрасываются по линии 11 в производственную канализацию.

Измерение температуры исходной НСВ ведется спиртовым термометром с ценой деления 0,1 °С.

Содержание нефти в НСВ производилось фотоколориметром.

Эффективность очистки НСВ от нефтепродуктов, \mathcal{E}_n , %, определялась по формуле:

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

где $C_n^{\text{исх}}$ – содержание нефти в НСВ, поступающих на очистку, мг/л;

$C_n^{\text{оч}}$ – содержание нефтепродуктов в очищенной воде, мг/л.

Исследования проводились:

- для различных типов зернистой загрузки скорых напорных фильтров (кварцевый песок, щебень, дробленый антрацит и кварцевый песок);
- для различных скоростей фильтрования от 6 до 8 м/ч;
- для различного давления на входе в напорные скорые фильтры от 2 до 5 кгс/см²;
- для регенерации загрузки скорых напорных фильтров применялась водовоздушная и водяная промывка;
- температура воды, поступающей на очистку в скорые напорные фильтры находилась в пределах от +19,7 до +20,2°С

Концентрация нефтепродуктов в исходной воде находилась в диапазоне $4,3 \times 10^{-2} - 6,1 \times 10^{-2}$ г/л.

3. Результаты

Результаты исследований, представленных в таблице, показали, что при концентрации нефтепродуктов в исходной воде $4,3 \times 10^{-2} - 6,1 \times 10^{-2}$ г/л на выходе из скорого напорного фильтра их концентрация составила $9 \times 10^{-3} - 3,4 \times 10^{-2}$ г/л, что подтверждает достаточно высокую эффективность очистки НСВ от нефтепродуктов скорых напорных фильтрах.

При исследовании возможности использования различных видов зернистой загрузки лучший результат показала двухслойная зернистая загрузка из антрацита и кварцевого песка. Эффект очистки от нефтепродуктов при ее использовании составил 75-81%. При регенерации данной загрузки использовалась водяная промывка. Худший результат достигнут при крупнозернистой гравийной загрузке. Эффект очистки составил 39-41%. Регенерация этой загрузки осуществлялась при помощи водовоздушной промывки.

Таблица

Результаты исследований

№	Тип загрузки	Потери давления на фильтре, кгс/см ²	V _ф , м/ч	C _{исх} _н , мг/л	C _{оч} _н , мг/л	Э _н , %	Вид промывки	T, °C		
1	2	3	5	6	7	8	9	10		
1	Кварцевый песок высота слоя 1,2 м, d _{фр} =1,2-2 мм	0,3	7	56	27	52	водовоздушная (1 режим)	20,0		
		0,4		52	27	50				
		0,4		54	28	48				
2	Гранитный щебень высота слоя 1,2 м, d _{фр} =3-10 мм	0,2	7	58	34	41	водовоздушная (2 режим)	19,8		
		0,3		49	30	39				
		0,3		53	32	40				
3	Дробленый керамзит высота слоя 0,4 м, d _{фр} =1,2-2 мм, Кварцевый песок высота слоя 0,6 м, d _{фр} =0,7-1,6 мм	0,4	7	60	17	72	водяная	19,7		
		0,3		51	14	73				
		0,5		57	17	70				
4	Дробленый антрацит высота слоя 0,4 м, d _{фр} =1,2-2 мм, Кварцевый песок высота слоя 0,6 м, d _{фр} =0,7-1,6 мм	0,3	7	48	9	81	водяная	20,1		
		0,4		55	11	79				
		0,4		51	10	80				
5			0,3	6	56	9		84		20,2
			0,4		61	11		82		
			0,4		59	10		83		
			0,6	8	43	10		77		19,9
			0,6		48	12		75		
0,5		46	11	76						
6			0,3	7	48	10		79	20,1	
			0,4		51	10		80		
			0,3		49	11		78		

4. Обсуждение

Анализ результатов исследований позволил выявить зависимость влияния скорости фильтрования и давления на эффективность очистки НСВ от нефти в скорых напорных фильтрах. Скорость фильтрования в скорых напорных фильтрах рекомендуется поддерживать в пределах 7 м/ч. Уменьшение этой скорости ведет к росту размеров фильтров, а увеличение – снижает эффективность очистки НСВ от нефти. Изменение давления на входе в скорый фильтр не влияет на эффективность работы этого аппарата.

Полученные результаты хорошо коррелируются с результатами исследований процессов очистки воды от нефтепродуктов [22-25]. В работах [24, 25] были представлены результаты исследований очистки воды от нефтепродуктов сорбцией и ультрафильтрацией. Эффективность очистки составила соответственно 87-95% [24] и 70-92% [25].

Полученная в результате проведенных исследований эффективность очистки от нефтепродуктов на скорых напорных фильтрах позволяет рекомендовать данный метод для очистки нефтесодержащих сточных вод наравне с сорбцией и ультрафильтрацией.

Дальнейшие исследования будут направлены на повышение эффективности работы напорных фильтров путем модернизации загрузки.

5. Заключение

Изучены процессы очистки нефтесодержащих стоков в скорых напорных фильтрах с различной зернистой загрузкой:

1. Выявлен вид зернистой загрузки скорых напорных фильтров, показывающий более высокий эффект очистки. Наиболее приемлемой является двухслойная загрузка из дробленного антрацита и кварцевого песка.

2. Определена оптимальная скорость фильтрования, которую рекомендуется поддерживать в пределах 7 м/ч. Увеличение скорости ведет к снижению эффективности очистки.

3. Установлено, что изменение давления на входе в фильтр не влияет на эффект очистки.

4. Регенерацию фильтрующей загрузки скорых напорных фильтрах следует осуществлять фильтратом в направлении противоположном направлению фильтрации с интенсивностью не менее 14 л/с·м².

5. Исследования показали достаточно высокую эффективность очистки от нефтепродуктов в скорых напорных фильтрах. Применение скорых напорных фильтров с зернистой загрузкой является достаточно эффективным методом для очистки нефтесодержащих сточных вод.

Список литературы

1. Миронов Е. А. Закачка сточных вод нефтяных месторождений в продуктивные и поглощающие горизонты. М.: Недра, 1976. 169с.
2. Ogbeiwi P., Aladeitan Y., Udebhulu, D. An approach to waterflood optimization: case study of the reservoir X. *Petroleum Exploration and Production Technology*. 2018. 8. P. 271–289. DOI: 10.1007/s13202-017-0368-5.
3. Abdeli D., Seiden A. High performance water treatment technology for the reservoir pressure maintenance at oil fields // *Mechanical Engineering Research and Developments*. 2018. 41(4). P.66-81. DOI: 10.1007/s13202-019-0650-9.
4. Sarvestani A., Ayatollahi Sh., Moghaddam M. Smart water flooding performance in carbonate reservoirs: an experimental approach for tertiary oil recovery // *Petroleum Exploration and Production Technology*. 2019. 9. P. 2643–2657.
5. Gao H., Stenstrom M. K. Evaluation of three turbulence models in predicting the steady state hydrodynamics of a secondary sedimentation tank // *Water Research*. 2018. 143. P. 445-456. DOI:10.1016/j.watres.2018.06.067.
6. Torfs E., Martn M. C., Locatelli F., Balemans S., Bÿrger R., Diehl S., Nopens I. Concentration – driven models revisited: towards a unified framework to model settling tanks in water resource recovery facilities // *Water Science and Technology*. 2017. 75(3). P. 539-551. DOI: 10.2166/wst.2016.485.

7. Zhang Y., Chen A., Zhang P., Zhou Y., Zhang T. Refitted inclined plate for improving suspended solids removal in standard storm – water sumps // *Water Science and Technology*. 2018. 77(8). P. 2077-2083. DOI: 10.2166/wst.2018.121.
8. Farakhov M. I., Laptev A. G. and Basharov M. M. Modernization of devices for purifying liquids from dispersed phase in a petrochemical complex // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2015. 49 (6). P. 815-822. doi:10.1134/S0040579515060032
9. Yang X., Simmons M. J., Liu, P., Zhang Y., Jiang L. Effect of feed body geometry on separation performance of hydrocyclone // *Separation Science and Technology (Philadelphia)*. 2019. 54(2). P. 2959-2970. DOI: 10.1080/01496395.2019.1565772.
10. 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. 55(2). P. 313-320. DOI: 10.1080/01496395.2018.1548486.
11. Han T., Liu H., Xiao H., Chen A., Huang Q. Experimental study of the effects of apex section internals and conical section length on the performance of solid-liquid hydrocyclone // *Chemical Engineering Research and Design*. 2019. 145. P. 12-18. DOI: 10.1016/j.cherd.2019.02.040.
12. Sriyono, Kusmastuti R., Butarbutar S. L., Salimy D. H. Analysis of hydrocyclone as river water pre-treatment for tertiary coolant of RDE // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. 198(2). P. 438-445. DOI: 10.1088/1742-6596/1198/2/022040.
13. Selyugin A., Busarev A., Abitov R. Experience in the use of Hydrocyclone Plants for Industrial Wastewater Treatment. In: International conference “Scientific research of the SCO countries”: Synergy and integration. Beijing: Minzu University of China. 2019. P. 166-169.
14. Урмитова Н.С. и др. Гидродинамическая очистка нефтепромысловых сточных на основе применения закрученных потоков. Казань: КГАСУ, 2014. 245с.
15. Гришин Б. М. и др. Очистка сточных вод нефтепромыслов с применением высокопроизводительных блочно-модульных установок. Пенза: ПГУАС, 2015. 135с.
16. Урмитова Н. С., Абитов Р. Н., Низамова А. Х. Коалесцирующие материалы, применяемые в насадках установок очистки нефтесодержащих сточных вод: сб. докладов XII международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С. В. Яковлева. М.: Издательство МГСУ, 2017. С. 9-12.
17. 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 890 (2020) 012151 doi:10.1088/1757-899X/890/1/012151
18. Журба М. Г., Соколов Л. И., Говорова Ж. М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: Т.2. Очистка и кондиционирование природных вод. М.: Издательство АСВ, 2010. 552с.
19. Пономарев В. Г. Процессы разделения суспензий сточных вод. Конструкции сооружений. М.: Издательство АСВ, 2015. 228 с.
20. Бусарев А. В., Селюгин А. С., Каюмов И. А., Бадрутдинов Р. А. Исследование процессов очистки сточных вод, мойки легковых автомобилей // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2017. №05(59). Часть 3. С. 10-13.
21. 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.
22. Lee J and Lee M Stormwater runoff treatment filtration system and backwashing system // *Water Science and Technology*. 2019. 79(4). P. 771-8. DOI:10.2166/wst.2019.097
23. Verma S, Daverey A and 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. 26(33). P. 34148-56. DOI:10.1007/s11356-018-3551-4.
24. Бусарев А.В., Шешегова И.Г., Ефремова Р.Ю. К вопросу удаления из природных вод нефтепродуктов методом сорбции // *Известия КГАСУ*. 2019. №4(50). С.313-319.
25. Бусарев А.В., Шешегова И.Г., Иванова В.О. Исследования по очистке воды от нефтепродуктов в мембранных разделителях // *Современные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Материалы XI Национальной конференции с международным участием. – Саратов: ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2021. С.16-19.*

References

1. Mironov E. A. Injection of waste water from oil fields into productive and absorbing horizons. Moscow: Nedra, 1976. P169.
2. Ogbeiwi P., Aladeitan Y., Udebhulu, D. An approach to waterflood optimization: case study of the reservoir X. *Petroleum Exploration and Production Technology*. 2018. 8. P. 271–289. DOI: 10.1007/s13202-017-0368-5.
3. Abdeli D., Seiden A. High performance water treatment technology for the reservoir pressure maintenance at oil fields // *Mechanical Engineering Research and Developments*. 2018. 41(4). P.66-81. DOI: 10.1007/s13202-019-0650-9.
4. Sarvestani A., Ayatollahi Sh., Moghaddam M. Smart water flooding performance in carbonate reservoirs: an experimental approach for tertiary oil recovery // *Petroleum Exploration and Production Technology*. 2019. 9. P. 2643–2657.
5. Gao H., Stenstrom M. K. Evaluation of three turbulence models in predicting the steady state hydrodynamics of a secondary sedimentation tank // *Water Research*. 2018. 143. P. 445-456. DOI:10.1016/j.watres.2018.06.067.
6. Torfs E., Martн M. C., Locatelli F., Balemans S., Върger R., Diehl S., Nopens I. Concentration – driven models revisited: towards a unified framework to model settling tanks in water resource recovery facilities // *Water Science and Technology*. 2017. 75(3). P. 539-551. DOI: 10.2166/wst.2016.485.
7. Zhang Y., Chen A., Zhang P., Zhou Y., Zhang T. Refitted inclined plate for improving suspended solids removal in standard storm – water sumps // *Water Science and Technology*. 2018. 77(8). P. 2077-2083. DOI: 10.2166/wst.2018.121.
8. Farakhov M. I., Laptev A. G. and Basharov M. M. Modernization of devices for purifying liquids from dispersed phase in a petrochemical complex // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2015. 49 (6). P. 815-822. doi:10.1134/S0040579515060032
9. Yang X., Simmons M. J., Liu P., Zhang Y., Jiang L. Effect of feed body geometry on separation performance of hydrocyclone // *Separation Science and Technology (Philadelphia)*. 2019. 54(2). P. 2959-2970. DOI: 10.1080/01496395.2019.1565772.
10. 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. 55(2). P. 313-320. DOI: 10.1080/01496395.2018.1548486.
11. Han T., Liu H., Xiao H., Chen A., Huang Q. Experimental study of the effects of apex section internals and conical section length on the performance of solid–liquid hydrocyclone // *Chemical Engineering Research and Design*. 2019. 145. P. 12-18. DOI: 10.1016/j.cherd.2019.02.040.
12. Sriyono, Kusmastuti R., Butarbutar S. L., Salimy D. H. Analysis of hydrocyclone as river water pre-treatment for tertiary coolant of RDE // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. 198(2). P. 438-445. DOI: 10.1088/1742-6596/1198/2/022040.
13. Selyugin A., Busarev A., Abitov R. Experience in the use of Hydrocyclone Plants for Industrial Wastewater Treatment. In: International conference “Scientific research of the SCO countries”: Synergy and integration. Beijing: Minzu University of China. 2019. P. 166-169.
14. Urmitova N. S. and others. Hydrodynamic treatment of oilfield wastewater based on the use of swirling flows. Kazan: KSUAE, 2014. P. 245.
15. Grishin B. M. and others. Oilfield wastewater treatment using high-performance modular units. Penza: PGUAS, 2015. P. 135.
16. Urmitova N. S., Abitov R. N., Nizamova A. Kh. Coalescing materials used in the nozzles of oily wastewater treatment plants: collection of articles. reports of the XII international scientific and technical conference dedicated to the memory of Academician S.V. Yakovleva. M.: Publishing house MGSU, 2017. P. 9-12.
17. 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 890 (2020) 012151 doi:10.1088/1757-899X/890/1/012151
18. Zhurba M. G., Sokolov L. I. and Govorova Zh. M. Water supply. Design of systems and structures: vol 2. Purification and conditioning of natural waters. M.: Izdatelstvo ASV, 2015. 552 p.
19. Ponomarev V. G. Processes of separation of wastewater suspensions. Structures of structures. M.: Izdatelstvo ASV, 2015. 228 p.

20. Busarev A. V., Selyugin A. S., Kayumov I. A., Badrutdinov R. A. Investigation of wastewater treatment processes, car washing // International scientific research journal. 2017. № 05 (59). Part 3. P. 10-13.
21. Busarev A. V., Selyugin A. S., Kayumov F. F. On the issue of surface effluent treatment in hydrocyclone installations // Modern science-intensive technologies. 2016. №10. P. 229-232.
22. Lee J and Lee M Stormwater runoff treatment filtration system and backwashing system // Water Science and Technology. 2019. 79(4). P. 771-8. DOI:10.2166/wst.2019.097
23. Verma S, Daverey A and 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. 26(33). P. 34148-56. DOI:10.1007/s11356-018-3551-4
24. Busarev A.V., Sheshegova I.G., Efremova R.Y. On the issue of oil // Izvestiya KGASU. 2019. № 4 (50). P. 313-319.
25. Busarev A.V., Sheshegova I.G., Ivanova V.O. Research on water purification from oil products in membrane separators // Modern problems and prospects for the development of construction, heat and gas supply and energy supply: Proceedings of the XI National Conference with international participation. - Saratov: Saratov State Agrarian University, 2021. P.16-19.

Информация об авторах

Бусарев Андрей Валерьевич кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: reder100@myrambler.ru

Шешегова Ирина Геннадьевна старший преподаватель Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: ig-7@mail.ru

Мамаков Илья Дмитриевич начальник проектного отдела ООО «Евро Акцент Саба» г. Казань, Российская Федерация

E-mail: mamakov.i@mail.ru

Information about the authors

A.V. Busarev candidate of the technical sciences, assistant professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: reder1@myrambler.ru

I.G. Sheshegova senior lecturer, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: ig-7@mail.ru

I.D. Mamakov head of the design department LLC «Euro Accent Saba», Kazan, Russian Federation

E-mail: mamakov.i@mail.ru