

А. В. Бусарев, А. С. Селюгин, Е. Ю. Ермилова

## ОЧИСТКА МАЗУТОСОДЕРЖАЩИХ СТОКОВ КОТЕЛЬНЫХ В ГИДРОЦИКЛОННО – ФИЛЬТРОВАЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ

*Ключевые слова:* мазутосодержащие стоки, котельная, установка, технологическая схема, нефтепродукты, очистка.

*Несмотря на переход большинства котельных на газовое топливо, мазут все же используется в качестве резервного топлива для большинства крупных и средних ТЭС. Однако, частенько для слива мазута из автоцистерн и железнодорожного транспорта требуется его разогрев для уменьшения вязкости. Чаще всего разогрев осуществляется паром, который постепенно конденсируется в емкостях хранения мазута. Поэтому проблема утилизации и очистки таких нефтесодержащих стоков является актуальной как для малых котельных, так и для больших объемов стоков ТЭС. В связи с этим, данные исследования заключаются, в первую очередь, в развитии методов очистки мазутосодержащих стоков, формирующихся в котельных промышленных предприятий. Кроме того, локальные очистные сооружения позволяют решать экологическую проблему очистки таких стоков. Целью работы явилось рассмотрение методов очистки сточных вод и разработка схемы локальных установок очистки мазутосодержащих стоков котельных, находящихся непосредственно на территории промпредприятий. При решении поставленных задач применялись методы анализа имеющихся ранее результатов, сравнение и экспериментальные исследования. В статье приведены данные по составу мазутосодержащих сточных вод, рассмотрены методы очистки данных вод, представлена технология обработки мазутосодержащих стоков в гидроциклонно-фильтровальной станции. Результаты эксперимента показали, что для очистки стоков из резервуаров-хранилищ мазута котельной следует использовать гидроциклон GC-75, который имеет достаточно высокую эффективность очистки, а также высокую производительность. На основании полученных результатов были сделаны выводы о том, что схема очистки «напорный гидроциклон-сверхскорый фильтр» доказала свою работоспособность.*

A. V. Busarev, A. S. Selyugin, E. Yu. Ermilova

## PURIFICATION OF FUEL OIL-CONTAINING BOILER WASTEWATER IN A HYDROCYCLONE-FILTERING UNIT

*Keywords:* fuel oil-containing wastewater, boiler house, unit, process flow chart, petroleum products, purification.

*Despite the transition of most boiler houses to gas fuel, fuel oil is still used as a reserve fuel for most large and medium thermal power plants. However, often for draining fuel oil from tank trucks and rail transport it is necessary to heat it up to reduce viscosity. Most often, heating is carried out with steam, which gradually condenses in fuel oil storage tanks. Therefore, the problem of disposal and purification of such oil-containing wastewater is relevant both for small boiler houses and for large volumes of wastewater from thermal power plants. In this regard, these studies consist, first of all, in the development of methods for cleaning fuel oil-containing wastewater generated in boiler houses of industrial enterprises. In addition, local treatment facilities will help solve the environmental problem of cleaning such wastewater. The purpose of the work was to consider wastewater treatment methods and develop a scheme of local installations for cleaning fuel oil-containing wastewater from boiler houses located directly on the territory of industrial enterprises. In solving the tasks, the methods of analyzing previously available results, comparison and experimental studies were used. The article presents data on the composition of fuel oil-containing wastewater, considers methods for cleaning these waters, and presents a technology for processing fuel oil-containing wastewater in a hydrocyclone-filter station. The results of the experiment showed that a GC-75 hydrocyclone should be used to clean wastewater from boiler house fuel oil storage tanks, which has a fairly high cleaning efficiency and high productivity. Based on the results obtained, it was concluded that the "pressure hydrocyclone-super-fast filter" cleaning scheme has proven its efficiency.*

### Введение

Практически каждое промышленное предприятие имеет на своей территории котельные, обеспечивающие их горячей водой и острым паром. В качестве топлива большинство этих котельных используют природный газ [1]. Однако в качестве резервного топлива до сих пор применяется мазут [2-4]. Более того, в тех районах, где отсутствуют магистральные газопроводы (север РФ, Якутия, Дальний Восток), мазут играет роль основного топлива. В процессе перекачки мазута применяется пар для нагрева этого вида топлива [5,6]. Пар повышает температуру мазута, что позволяет сливать его в резервуары-хранилища. В процессе хранения топливного мазута сконцентрировавшийся пар образует в резервуарах-хранилищах водяную подушку, которую необходимо отделить от

него при подаче мазута в котлы. Таким образом, в котельных формируется нефтесодержащие сточные воды (НСВ), сброс которых в системы водоотведения населённых пунктов, где расположены котельные, невозможен, т.к. поступление НСВ на городские сооружения биологической очистки хозяйственно-бытовых стоков приводит к выходу данных сооружений из строя [7-9].

Концентрация мазута в воде, сбрасываемой из емкостей для его хранения, достигает 3-10 г/л, а взвеси 0,2-1 г/л [7,9]. По данным [10] содержание мазута в них не превышает 0,5-15 г/л, а взвеси – 0,1-0,5 г/л.

Количество НСВ, образующихся в резервуарах-хранилищах котельных, в среднем составляет 0,05 м<sup>3</sup> на тонну мазута, который находится в этих ёмкостях.

Мазутосодержащие стоки очищаются механически, физико – химически и биологически [11,12]. Они

механически обрабатываются в отстойниках различных конструкций, разных фильтрах и гидроциклонах [7,9-10].

Для очистки мазутосодержащих стоков применяется коагуляция, флотация, ультрафильтрация и сорбция [10,11]. Биохимическое окисление мазутосодержащих стоков производится в биологических прудах [10,11].

По данным Казанского государственного архитектурно-строительного университета (КГАСУ) содержание мазута в мазутосодержащих стоках не превышает 1-3 г/л, а взвешенных веществ 0,1-0,2 г/л. Часто в этих стоках вообще отсутствуют твердые взвешенные вещества.

В КГАСУ очистку мазутосодержащих стоков проводят в аппаратах типа БГО самой разной производительности [7,9,13]. В состав этих установок входят батареи напорных цилиндрических гидроциклонов, а также горизонтальные или вертикальные отстойники различных конструкций, работающие в напорном или самотечном режиме.

В этих агрегатах содержание мазута сокращается с 1-3 г/л до 0,01-0,05 г/л, а взвеси с 0,1-0,2г/л до 0,02-0,05г/л.

Дальнейшее совершенствование конструкции установок БГО привело к появлению агрегатов типа БГКО [14] в которых для укрупнения капель нефтепродуктов в воде дополнительно используется энергия закрученных потоков, возникающих в цилиндрических камерах, установленных на верхних и нижних сливах напорных гидроциклонов. БГКО уменьшает концентрацию нефтепродуктов с 0,5-3 г/л до 0,06 г/л, а взвеси – с 0,2 до 0,05 г/л [14].

В КГАСУ также создан аппарат обработки мазутосодержащих стоков нефтебаз [13]. В него входят тонкослойная нефтеловушка, батарея гидроциклонов, а также скорые напорные фильтры с двухслойной зернистой загрузкой. Нефтеловушка работает в безнапорном режиме. Далее мазутосодержащие стоки проходят глубокую очистку в гидроциклонно-фильтровальной установке. Мазутосодержащие стоки с верхнего слива гидроциклонов возвращаются в нефтеловушку. Очищенная вода из установки используется для технических нужд нефтебазы. Промывка напорных фильтров осуществляется фильтром. Описанная выше технология снижает содержание мазута с 0,5 до 0,005 г/л, а взвеси с 0,1 до 0,005 г/л [14].

В связи с вышесказанным, **целью работы** явилось изучение эффективности работы гидроциклонно-фильтровальной станции для очистки мазутосодержащих стоков в установке блок гидроциклон-сверхскоростной фильтр, и установление возможности использования локальной установки на основе сооружений напорный гидроциклон и сверхскоростной фильтр для очистки нефтесодержащих стоков котельных непосредственно на территории предприятий, где они размещены.

### Материалы и методы исследования

К основным методам научного исследования, используемым при написании данной работы, можно отнести:

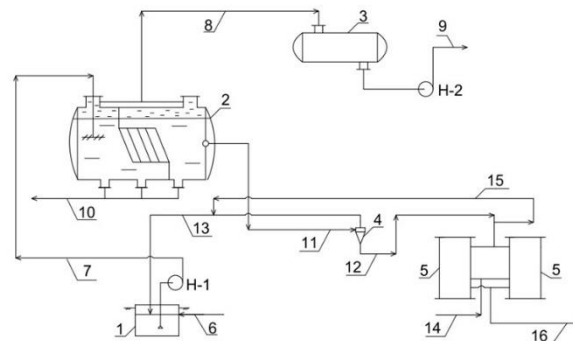
- сбор и анализ литературных источников;

- анализ ранее разработанных аналогичных установок;

- экспериментальные исследования разработанной установки с целью определения эффективности работы.

### Результаты и обсуждение

Для очистки мазутосодержащих стоков КГАСУ предлагается следующая технология (см. рис.1).

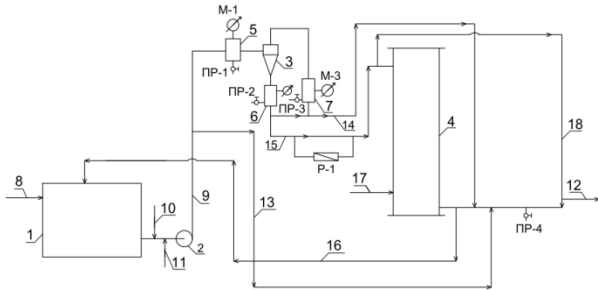


**Рис. 1 – Схема установки очистки стоков из резервуаров-хранилищ топливного мазута: 1 – резервуар для сбора сточной воды; 2 – напорный горизонтальный тонкослойный отстойник; 3 – резервуар для уловленных нефтепродуктов; 4 – батарея напорных цилиндрических гидроциклонов; 5 – автоматизированная сверхскоростная фильтровальная станция (АСФС); 6 – подача стоков на очистку; 7 – подача стоков в отстойник; 8 – отвод нефтепродуктов из отстойника; 9 – перекачка нефтепродуктов на утилизацию; 10 – отвод осадка из отстойника; 11 – подача стоков в гидроциклоны; 12 – подача стоков из нижних сливов гидроциклонов в АСФС; 13 – отвод стоков из верхних сливов гидроциклонов в резервуар 1; 14 – подача сжатого воздуха в АСФС; 15 – отвод промывной воды из АСФС; 16 – отвод очищенной воды в систему технического водоснабжение котельной**

**Fig. 1 – Scheme of the installation for treatment of effluent from fuel oil storage tanks: 1 - tank for waste water collection; 2 - pressure horizontal thin-layer settling tank; 3 - tank for captured oil products; 4 - battery of pressure cylindro-conical hydrocyclones; 5 - automated superfast filtering station (ASFS); 6 - supply of waste water for treatment; 7 - supply of waste water to the settling tank; 8 - withdrawal of oil products from the settling tank; 9 - pumping of oil products for utilisation; 10 - sludge removal from the settling tank; 11 - supply of effluent to hydrocyclones; 12 - supply of effluent from the lower drains of hydrocyclones to the ASFS; 13 - discharge of effluent from the upper drains of hydrocyclones to tank 1; 14 - supply of compressed air to the ASFS; 15 - discharge of wash water from the ASFS; 16 - discharge of treated water to the technical water supply system of the boiler house**

Концентрация мазута в стоках котельных по данной технологии может быть сокращена с 0,5-1 до 0,005-0,01 г/л, а взвеси – с 0,1 до 0,005 г/л.

Опытная гидроциклонно–фильтровальная станция изображена на рис.2. Размерные параметры напорных гидроциклонов приведены в табл.1.



**Рис. 2 – Опытная гидроциклонно –фильтровальная станция: 1 – резервуар для исходной воды; 2 – насос; 3 – напорный цилиндрикоконический гидроциклон; 4 – модель сверхскоростного напорного фильтра; 5 – стабилизирующая поток ёмкость; 6 – напорная ёмкость нижнего слива; 7 – напорная ёмкость верхнего слива**

**Fig. 2 – Experimental hydrocyclone-filter station: 1 - reservoir for initial water; 2 - pump; 3 - pressure cylindro-conical hydrocyclone; 4 - model of superfast pressure filter; 5 - flow stabilising tank; 6 - pressure tank of lower drain; 7 - pressure tank of upper drain.**

**Таблица 1 – Геометрические характеристики напорных гидроциклонов**

**Table 1 – Geometric characteristics of pressure hydrocyclones**

Марка	D, мм				α, град	Hц, мм	Hобщ, мм
	гидроциклона	патрубка					
		входного	верхнего	нижнего			
GC-40	40	15	15	10	5	15	525
GC-75	75	15	20	18	5	15	730
GC-100	100	20	20	15	5	20	1100

Ёмкость 5 стабилизирует поток НСВ, который подается в напорный гидроциклон 3. Она имеет манометр М-1 для измерения давления на входе в этот аппарат и пробоотборник ПР-1 для отбора проб исходной воды. В резервуар 1 по линии 3 поступает водопроводная вода, которая насосом 2 по трубопроводу 9 подается в напорный гидроциклон 3. Во всасывающую линию насоса 2 по трубопроводу 10 подаются нефтепродукты, а по трубопроводу 11 – суспензия.

По трубопроводу 12 вода может сбрасываться в производственную канализацию, избыток воды, подаваемой в гидроциклон 3, отводится в канализацию по линии 13. Избыток воды, подаваемой в модель сверхскоростного фильтра 4, отводится в канализацию по линии 14. Эта же линия используется для отвода НСВ из верхнего слива гидроциклона 3. Вода с нижнего слива гидроциклона 3 подается в модель сверхскоростного фильтра 4 по линии 15. На ней установлен расходомер Р-1, который позволяет регулировать начальную скорость фильтрования (V<sub>0</sub>) в модели фильтра 4. Очищенная вода по линии 16 отводится в резервуар 1. Модель 4 промывается водопроводной водой. По воздухопроводу 17 в нее подается сжатый воздух. По линии 18 в канализацию сбрасывается промывная вода.

Температура сточной воды определялась термометром с ценой деления 0,1°С. Концентрация нефтепродуктов в сточной воде измерялась фотоколориметрическим способом [13]. Содержание взвеси в нефтесодержащих стоках определялось весовым методом [13].

Эффект очистки стоков от нефтепродуктов Э<sub>н</sub>, %, определялся по формуле [15]:

$$Э_n = \frac{C_{н}^{исх} - C_{н}^{оч}}{C_{н}^{исх}} \times 100, \quad (1)$$

где C<sub>н</sub><sup>исх</sup> – содержание мазута в воде, поступающей на очистку, мг/л; C<sub>н</sub><sup>оч</sup> – его концентрация в очищенной воде, мг/л.

Эффект очистки сточной воды от взвеси Э<sub>в.в.</sub>, %, определялся по формуле [15]:

$$Э_{н.в.} = \frac{C_{в.в.}^{исх} - C_{в.в.}^{оч}}{C_{в.в.}^{исх}} \times 100 \quad (2)$$

где C<sub>в.в.</sub><sup>исх</sup> – концентрация взвешенных веществ в исходной воде, мг/л; C<sub>в.в.</sub><sup>оч</sup> – концентрация взвешенных веществ в очищенной воде, мг/л.

Анализ результатов опытов, представленных в таблицах 2-4, показал:

1. Концентрация мазута в исходной воде, поступающей на очистку, достигает 0,047- 0,054 г/л; в то время, как в обработанной по схеме «напорный гидроциклон-сверхскоростной фильтр», снижается до 0,003-0,008 г/л.

2. Концентрация взвеси в мазутосодержащих стоках не превышает 0,009-0,013 г/л, а в воде на выходе из гидроциклонно–фильтровальной станции уменьшается до 0,004-0,006 г/л.

3. Температура НСВ не превышает +23,8...+24,5°С.

4. Концентрация нефтепродуктов в воде с верхнего слива гидроциклонов достигает 0,109-0,134 г/л, а взвешенных веществ составляет 0,003-0,006 г/л.

5. Эффект очистки по нефтепродуктам при начальной обработке НСВ в гидроциклоне GC-40 составляет 90-94%, гидроциклоне GC-75 – 89-92%, а в гидроциклоне GC-100 – 83-86%.

6. Эффект очистки по взвеси при начальной обработке НСВ в гидроциклоне GC-40 составляет 45-53%, гидроциклоне GC-75 – 44-58%, а в гидроциклоне GC-100 – 54-60%.

Таблица 2 – Результаты испытаний параметров установок

Table 2 – Test results of plant parameters

Марка	T, °C	P, МПа		V <sub>0</sub> , м/ч
		на входе в гидроциклон	На сливах гидроциклона	
GC-40	24,2	0,3	0,1	25
		0,3	0,2	
	24,3	0,4	0,1	
		0,4	0,2	
	24,1	0,5	0,2	
		0,5	0,3	
GC-75	23,8	0,3	0,1	25
		0,3	0,2	
	23,9	0,4	0,1	
		0,4	0,2	
	24,0	0,5	0,2	
		0,5	0,3	
GC-100	24,5	0,3	0,1	25
		0,3	0,2	
	24,3	0,4	0,2	
		0,4	0,3	
	23,9	0,5	0,2	
		0,5	0,3	

Таблица 3 – Концентрация нефтепродуктов и эффективность очистки на экспериментальных установках

Table 3 – Concentration of petroleum products and cleaning efficiency at experimental installations

Марка	Концентрация нефтепродуктов, мг/л				Эн, %
	в исходной воде	в верхнем сливе гидроциклона	в нижнем сливе гидроциклона	в очищенной воде	
GC-40	52	119	19	5	90
	50	125	19	4	92
	49	110	18	5	90
	51	111	18	4	92
	53	122	19	4	92
	48	131	17	3	94
GC-75	54	132	21	6	89
	51	117	19	5	90
	47	109	16	4	91
	48	115	17	4	92
	52	122	20	4	92
	50	126	19	4	92
GC-100	50	115	20	8	84
	53	134	21	8	85
	49	122	19	7	86
	48	127	19	8	83
	47	130	18	8	83
	50	119	20	7	86

Таблица 4 – Концентрация нефтепродуктов и эффективность очистки на экспериментальных установках

Table 4 – Concentration of petroleum products and cleaning efficiency at experimental installations

Марка	Концентрация взвешенных веществ, мг/л				Эвв, %
	в исходной воде	в верхнем сливе гидроциклона	в исходной воде	в верхнем сливе гидроциклона	
GC-40	11	5	11	5	11
	12	6	12	6	12
	10	4	10	4	10
	13	6	13	6	13
	11	5	11	5	11
	12	5	12	5	12
GC-75	10	4	10	4	10
	9	4	9	4	9
	12	4	12	4	12
	13	6	13	6	13
	11	4	11	4	11
	12	5	12	5	12
GC-100	12	5	12	5	12
	11	4	11	4	11
	10	3	10	3	10
	12	4	12	4	12
	11	4	11	4	11
	13	5	13	5	13

### Заключение

В результате испытаний было установлено:

1. Эффект очистки по нефтепродуктам при начальной обработке НСВ в гидроциклоне GC-40 составляет 90-94%, гидроциклоне GC-75 – 89-92%, а в гидроциклоне GC-100 – 83-86%.

2. Эффект очистки по взвеси при начальной обработке НСВ в гидроциклоне GC-40 составляет 45-53%, гидроциклоне GC-75 – 44-58%, а в гидроциклоне GC-100 – 54-60%.

Таким образом, для очистки стоков из резервуаров-хранилищ мазута котельной следует использовать гидроциклон GC-75, который имеет достаточно высокую эффективность очистки, а также высокую производительность.

Иными словами, выдвинутая изначально гипотеза, об эффективности использования схемы «напорный гидроциклон – сверхскоростной фильтр» для очистки нефтесодержащих стоков котельных, доказала свою работоспособность.

### Литература

1. М.А. Таймаров, Ю.В. Лавирко, *Известия КГАСУ*, 2021, № 3 (57), 50–60.
2. Д.А. Тараскин, Д.В. Кузнецов, Н.С. Ларин, *Научный электронный журнал Меридиан*, 2020, № 7(41), С. 306-308.
3. Р.Г. Ахтямов, Н.А. Мещерякова, *Техногенная и природная безопасность. Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции*, Саратов, 27–28 октября 2021

- года. Саратов: ООО «Центр социальных агроинноваций СГАУ», 2021, С. 360-364.
4. Р.З. Рахимов, *Известия КГАСУ*, 2022, 3 (61), 67-74.
  5. В.И. Моисеев, Т.А. Комарова, А.В. Жебанов, Актуальные проблемы современного транспорта, 2023, № 2(12), С. 41-50.
  6. М.А. Таймаров, Ю.В. Лавирко, *Известия КГАСУ*, 2019, №3(49), 147-153.
  7. А.В. Бусарев, А.С. Селюгин, Л.Р. Хисамеева, Н.О. Шинкарев, *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*, 2017, № 12-2, С. 223-227.
  8. A. Basile, A. Cassano, M.R. Rahimpour, M.A. Makarem *Advanced Technologies in Wastewater Treatment. Oily Wastewaters*. Elsevier, 2023, 526 p.
  9. А.В. Бусарев, И.Г. Шешегова, Р.Н. Зинатуллин, *Современные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Материалы XIV Национальной конференции с международным участием*, Саратов, 25–26 апреля 2024 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, 2024, 45-49.
  10. *Канализация населенных мест и промышленных предприятий: справочник проектировщика* / Под ред. В. Н. Самохина, М.: Стройиздат, 1981, 639 с.
  11. В.И. Кичигин, *Водоотводящие системы промышленных предприятий*. М., ЛитРес, 2016, 657 с.
  12. В.С. Дикаревский, И.И. Караваев, И.И. Краснянский. *Канализационные очистные сооружения железнодорожного транспорта*, М: Транспорт, 1973, 283 с.
  13. А.В. Бусарев, А.С. Селюгин, Л.Р. Хисамеева, А.М. Зубарев, *Энергосбережение и водоподготовка*, 2022, № 4 (138), С. 28-34.
  14. А.А. Адельшин, А.Б. Адельшин, Н.С. Урмитова, Гидродинамическая очистка нефтепромышленных сточных вод на основе применения закрученных потоков. Казань, КГАСУ, 2011. 245 с.
  15. Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов, В.И. Калицун, Примеры расчетов канализационных сооружений. М., Альянс, 2008. 255 с.
  2. D.A. Taraskin, D.V. Kuznetsov, N.S. Larin, *Scientific Electronic Journal Meridian*, 2020, No. 7(41), P. 306-308.
  3. R.G. Akhtyamov, N.A. Meshcheryakova, *Technogenic and natural safety*, Proceedings of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference, Saratov, 27-28 October 2021. Saratov: ООО 'Centre of Social Agroinnovations of SGAU', 2021, P. 360-364.
  4. R.Z. Rakhimov, *Izvestiya KGAU*, 2022, 3 (61), 67-74.
  5. V.I. Moiseev, T.A. Komarova, A.V. Zhebanov, *Actual Problems of Modern Transport*, 2023, No. 2 (12), P. 41-50.
  6. M.A. Taimarov, Y.V. Lavirko, *Izvestiya KGASU*, 2019, No. 3(49), 147-153.
  7. A.V. Busarev, A.S. Selyugin, L.R. Hisameeva, N.O. Shinkarev, *International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2017, No. 12-2, P. 223-227.
  8. A. Basile, A. Cassano, M.R. Rahimpour, M.A. Makarem *Advanced Technologies in Wastewater Treatment*. In *Wastewaters*. Elsevier, 2023, 526 p.
  9. A.V. Busarev, I.G. Sheshhegova, R.N. Zinatullin, *Modern problems and prospects of development of construction, heat and gas supply and energy supply: Proceedings of the XIV National Conference with international participation*, Saratov, 25-26 April 2024. - Saratov: Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, 2024, 45-49.
  10. *Sewerage of settlements and industrial enterprises: a designer's handbook* / Under ed. V. N. Samokhin, M. N. Samokhin, M. Stroyizdat, 1981, 639 p.
  11. V.I. Kichigin, *Water drainage systems of industrial enterprises*. М., LitRes, 2016, 657 p.
  12. V.S. Dikarevsky, I.I. Karavaev, I.I. Krasnyansky. *Sewage treatment facilities of railway transport*, M: Transport, 1973, 283 p.
  13. A.V. Busarev, A.S. Selyugin, L.R. Hisameeva, A.M. Zubarev, *Energy Saving and Water Treatment*, 2022, No. 4 (138), P. 28-34.
  14. A.A. Adelshin, A.B. Adelshin, N.S. Urmitova, *Hydrodynamic treatment of oil-industrial wastewater on the basis of application of swirling flows*. Kazan, KGASU, 2011. 245 p.
  15. Y.M. Laskov, Y.V. Voronov, V.I. Kalitsun, *Examples of Calculations of Sewerage Structures*. М., Alliance, 2008. 255 p.

## References

1. M.A. Taimarov, Y.V. Lavirko, *Izvestiya KGASU*, 2021, No. 3 (57), 50-60.

© **А. В. Бусарев** – канд. техн. наук, доцент каф. «Водоснабжение и водоотведение» (ВВ), Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КГАСУ), Казань, Россия, sa.789@yandex.ru; **А. С. Селюгин** – канд. техн. наук, доцент каф. ВВ, КГАСУ, sa.789@yandex.ru; **Е. Ю. Ермилова** – канд. техн. наук, доцент каф. ВВ, КГАСУ, lizabeta\_91@list.ru.

© **A. V. Busarev** – PhD (Technical Sci.), Associate Professor, Department of Water Supply and Sanitation (WSS), Kazan State University of Architecture and Civil Engineering (KSUACE), Kazan, Russia, sa.789@yandex.ru; **A. S. Selyugin** – PhD (Technical Sci.), Associate Professor, the WSS department, KSUACE, sa.789@yandex.ru; **E. Yu. Ermilova** – PhD (Technical Sci.), Associate Professor, the WSS department, KSUACE, lizabeta\_91@list.ru.