

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

ОЧИСТКА ФЕНОЛСОДЕРЖАЩИХ СТОКОВ МЕТОДОМ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ

Ключевые слова: фенолсодержащие сточные воды, очистка, экспериментальная установка, мембранный разделитель, исследования.

Фенолы широко применяются на производстве, поэтому они присутствуют в сточных водах различных предприятий. Фенолсодержащие сточные воды после очистки должны быть направлены в систему оборотного водообеспечения тех предприятий, где они возникли в ходе производства, или на очистные сооружения населённых мест, где расположены данные предприятия. Авторами работы предложена установка, состоящая из электрокоагулятора, мембранного разделителя, напорного тонкослойного отстойника и адсорбционного фильтра. Цель работы заключалась в использовании метода ультрафильтрации применительно к изучению процессов очистки фенолсодержащих сточных вод. Задачами исследования являлось определение марки мембранного разделителя для применения в промышленной установке и определение технологических параметров его работы. В результате проведенных экспериментов была выбрана марка мембранного разделителя с целью дальнейшего использования в промышленной установке глубокой очистки. На основании приведенных результатов исследований можно заключить, что эффективность очистки фенолсодержащих стоков для мембранных разделителей типа AP-2,0 H составил 67-75%, для разделителей типа dizzer Puozi-1,8 – 77-85%, а для разделителей UFal 4040-S – 85-95%. При этом наблюдается, что рост давления на входе в мембранные разделители не сопровождается увеличением эффекта очистки, но производительность разделителей по фильтрату возрастает. Кроме того, увеличение содержания фенола в стоках не увеличивает эффективности работы мембранных разделителей. Таким образом, согласно полученных данных, после очистки на предложенной установке содержание фенола в очищенных стоках составило 0,1–0,4 мг/л, а концентрация фенола в концентрате составила 20,5–30 мг/л. Таким образом, для доочистки стоков от фенола рекомендуется использовать мембранные разделители типа UFal 4040-S производства фирмы Rising Sun Membrane Technology Co.Ltd (Китайская Народная Республика).

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

PURIFICATION OF PHENOL-CONTAINING EFFLUENTS BY ULTRAFILTRATION

Keywords: phenol-containing wastewater, purification, experimental installation, membrane separator, research.

Phenols are widely used in manufacturing, so they are present in the wastewater of various enterprises. Phenol-containing wastewater after treatment should be directed to the water recycling system of those enterprises, where they occurred during production, or to the treatment facilities of the settlements where these enterprises are located. The authors of the work proposed an installation consisting of an electrocoagulator, a membrane separator, a pressure thin-layer settling tank and an adsorption filter. The aim of the work was to use the ultrafiltration method for the study of phenol-containing wastewater treatment processes. The objectives of the study were to determine the brand of membrane separator for use in an industrial plant and to determine the technological parameters of its operation. As a result of the conducted experiments the brand of membrane separator was selected for further use in the industrial plant of deep treatment. On the basis of the given research results it can be concluded that the efficiency of phenol-containing wastewater treatment for membrane separators of AR-2,0 H type was 67-75%, for separators of dizzerPuozzi-1,8 type - 77-85%, and for UFal 4040-S separators - 85-95%. It is observed that the increase in inlet pressure to the membrane separators is not accompanied by an increase in the purification effect, but the filtrate capacity of the separators increases. Besides, increase in phenol content in effluent does not increase the efficiency of membrane separators. Thus, according to the data obtained, after treatment at the proposed plant phenol content in the treated effluent was 0.1-0.4mg / L, and the concentration of phenol in the concentrate was 20.5-30mg / L. Thus, it is recommended to use membrane separators of UFal 4040-S type manufactured by Rising Sun Membrane Technology Co.Ltd (People's Republic of China) for additional treatment of wastewater from phenol.

Введение

Фенолы – это органические вещества, состоящие из бензольного ядра и нескольких гидроксид-ионов. Они могут быть представлены в природе как в виде летучих соединений (фенол, ксиленол, крезол), так и в виде многоатомных нелетучих веществ, например, резорцин, пирокатехин гидрохинон [1,2].

Фенолы, в свою очередь, умеренно растворимы в воде, и могут присутствовать в ней как в свободном состоянии, так и в виде фенолят-ионов [2].

Фенолы очень токсичны и относятся ко 2 классу опасности по воздействию на организм человека. Кроме того, фенолы влияют на растворимость в воде

кислорода и углекислого газа. Присутствие фенолов в воде поверхностных источников угнетающе влияет на их способность к самоочищению. Летучие фенолы придают воде неприятный запах. Они значительно токсичнее многоатомных [2].

Фенолы широко применяются на производстве, поэтому они присутствуют в сточных водах различных направлений химической и нефтехимической промышленности, в частности, при производстве фенолформальдегидных смол, полиакрилатов, полиамидов, эпоксидных смол, пестицидов и стабилизаторов, а также при термической обработке древесины [2].

В сточных водах таких промышленных предприятий присутствует фенолы в количестве от 1 до 15 г/л [2]. С свою очередь такие производства при неправильной очистке и халатном отношении к правильной работе локальных очистных сооружений приводят к несанкционированному сбросу сточных вод, содержащих фенолы, в поверхностные водные источники [2,3].

Содержание фенолов в исходной воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения в соответствии с требованиями документа ГН 2.1.5.1315-03 должно быть не более 0,001 – 0,1 мг/л. В связи с этим, рекомендуется после очистки фенолсодержащие сточные воды направлять в систему оборотного водоснабжения тех же предприятий, на которых они образовались, либо на канализационные очистные сооружения населённых пунктов, где эти предприятия расположены [3,4].

Согласно данным литературных источников [2–4] очистка от фенолов производится с помощью: химических, биологических и физико-химических методов.

Химическая очистка фенолсодержащих сточных вод представляет собой их окисление активным хлором, озоном или перекисью водорода [2-4]. Эффективность окисления фенолов хлорсодержащими реагентами невысока. Для окисления фенолсодержащих стоков озоном необходимо их подщелачивать, а кроме того озонирование относится к трудоемким и технологически сложным процессам, и соответственно очень дорогим. Окисления фенолов перекисью водорода требует применения редких катализаторов, поэтому сопряжено с высокими материальными затратами, но по сравнению с озонированием имеет меньшую эффективность [2-4]. Биохимическое окисление фенолов требует наличия очистных сооружений очень большого объема. Этот процесс занимает достаточно много времени, а концентрация фенолов в обрабатываемой сточной воде не должна быть очень высокой. Процесс биологической очистки фенолсодержащих стоков можно ускорить, подавая не сжатый воздух, а технический кислород. Этот процесс также интенсифицируется, если в сооружения биологической очистки подавать активный ил со специфическими микроорганизмами, а температуру стоков корректировать определенным образом [5].

К физико-химическим методам очистки сточных вод от фенолов можно отнести ионный обмен, электрохимическую деструкцию, адсорбцию с использованием фильтров, экстракцию, паровую обработку, а также ультрафильтрационную очистку [3,4,6,7].

Извлекают фенол из стоков с помощью анионитов или катионитов, которые помещаются в напорные ионообменные фильтры [3]. В этом случае применяются иониты марки ЭДЭ-10П или АВ-17, которые регенерируются водным раствором спирта или едкого натра. Содержание фенолов в сточных водах должно быть не менее 1г/л [3].

В процессе электрохимической деструкции поваренная соль под действием электрического тока

поваренная соль, добавленная к сточным водам, под действием электрического тока превращается в хлорноватистую кислоту. Таким образом, происходит окисление фенолят-ионов. При данном процессе применяют растворимые электроды, растворение которых приводит к образованию взвешенных комплексов, адсорбирующих фенолы. При таком методе очистки фенолсодержащих сточных вод потребляется большое количество электроэнергии, химических реагентов и растворимых электродов [4,7]. При использовании для удаления из стоков фенолов адсорбционных фильтров в качестве сорбентов применяются синтетические вещества, активированные угли или природные сорбционные материалы [8]. Данный метод при небольших концентрациях фенолов в стоках имеет достаточно высокий эффект очистки. К недостаткам адсорбции относится необходимость регенерации сорбента [8].

В процессе экстракции соединения фенола удаляются гидрофобным растворителем, отделяемым затем от воды при помощи декантации. Этот эффективный метод очистки отличается крайней дороговизной. Кроме того, он применим только для сточных вод, в которых содержание фенолов составляет более 2 г/л. В тоже время технологическая схема очистки фенолсодержащих стоков экстракцией отличается высокой сложностью [6,7].

При паровой обработке фенолсодержащих сточных вод они нагреваются до температуры 100 °С. Фенол удаляется из нагретых стоков потоком острого пара, пропускаемого через слой водного раствора каустика, в котором формируются соединения фенола. Этот метод очистки применяется для сточных вод в которых концентрация фенола не превышает 1,5 г/л. Технологическая схема очистки фенолсодержащих стоков паровым способом проста, размеры установки невелики, процесс очистки очень легко автоматизируется. Однако, этот метод обладает невысокой эффективностью, и при нем удаляется до 20% фенола, содержащегося в стоках [6,7].

Ультрафильтрация с помощью мембранных разделителей зарекомендовала себя в качестве эффективного метода очистки фенолсодержащих стоков. В процессе фильтрования фенолсодержащих стоков под действием избыточного давления через полимерные полупроницаемые мембраны вода проходит через их поры, а частицы фенолов задерживаются. При этом образуются два вида стоков: очищенные сточные воды (пермеат) и стоки с высокой концентрацией фенолов (концентрат). Недостатками данного метода являются относительно высокая стоимость мембран, сложность их эксплуатации, необходимость утилизации концентрата [9].

В связи с вышесказанным, **целью работы** явилось изучение процесса очистки фенолсодержащих стоков методом ультрафильтрации с определением типа мембранного разделителя и выявление технологического режима работы данного аппарата.

Материалы и методы исследования

Установка очистки производственных стоков от фенола представлена на рис. 1.

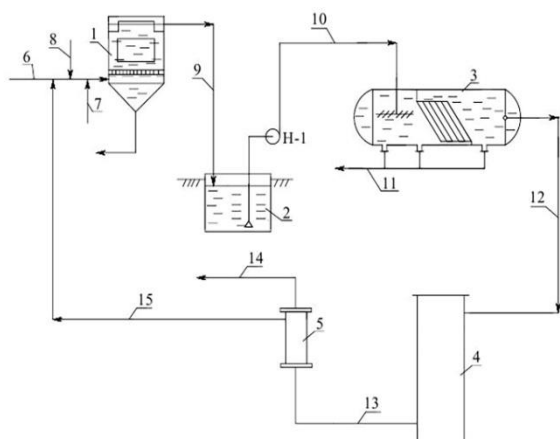


Рис. 1 – Схема установки очистки производственных стоков от фенола

Fig. 1 – Schematic diagram of the installation for treatment of industrial wastewater from phenol

Принцип работы установки на рис. 1 заключается в том, что фенолсодержащие стоки по трубопроводу поз. 6 подаются в электрокоагулятор 1 с растворимыми алюминиевыми электродами. По трубопроводу поз. 7 в трубопровод поз. 6 подается раствор флокулянта, а по трубопроводу поз. 8 для подщелачивания сточной воды подается при необходимости раствор едкого натра. При растворении алюминиевых электродов в процессе электролиза в электрокоагуляторе поз. 1 образуются хлопья, адсорбирующие фенол. Сточная вода по трубопроводу поз. 9 из электрокоагулятора поз. 1 поступает самотеком в накопительный резервуар 2, откуда насосом Н-1 по трубопроводу поз. 10 подается в напорный тонкослойный отстойник поз. 3 для возможности выпадению хлопьев в осадок и удалении последнего под избыточным давлением в шламонакопитель по трубопроводу 11.

Очищенные сточные воды из отстойника поз. 3 под избыточным давлением по трубопроводу поз. 12 поступают в адсорбционный напорный фильтр 4, в качестве загрузки в котором применяется синтетический сорбент «Уремикс 913». При этом, скорость фильтрования в адсорбционном фильтре не превышает 8 м/ч, а длительность контакта стоков с сорбентом должен быть не менее 15 мин [10].

Затем далее происходит доочистка сточных вод в мембранных разделителях поз. 5, куда фенолсодержащие стоки подаются под избыточным давлением по трубопроводу поз. 13. Отвод очищенных вод происходит по трубопроводу поз. 14 под действием остаточного давления, а по трубопроводу поз. 15 в начало установки подается концентрированные стоки. Такая экспериментальная установка позволяет уменьшить содержание фенола в стоках с 100 – 150 мг/л до содержания 0,1 мг/л.

Результаты и обсуждение

Группой ученых из КГАСУ была разработана экспериментальная установка (рис.2) с целью изучения процесса очистки фенолсодержащих стоков методом ультрафильтрации с определением типа мембранного разделителя. Принцип ее работы заключается в следующем: в емкость исходной воды 1 по трубопроводу 5 подается водопроводная вода. Насос 4 подает сточную воду на очистку в мембранный разделитель 2 по линии 6. Для создания модели фенолсодержащих стоков во всасывающую линию насоса 4 по трубопроводу 7 поступает раствор фенола. Очищенная вода (пермеат) под действием остаточного давления по трубопроводу 8 поступает в емкость очищенной воды 3, откуда по линии 9 отводится в производственную канализацию либо в переносной сборник. Концентрат по трубопроводу 10 под действием остаточного давления возвращается в начало линии очистки, т.е. в емкость 1.

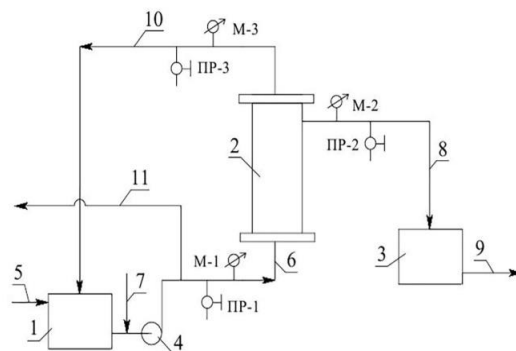


Рис. 2 – Схема экспериментальной установки

Fig. 2 – Scheme of the experimental setup

Слив из емкости исходной воды 1 осуществляется в промышленную канализацию посредством насоса 4, при открытии запорной арматуры на трубопроводе 11. Контроль давления на входе в мембранный разделитель осуществляется с помощью манометра М-1. Давление пермеата на линии 8 контролируется с помощью показывающего манометра М-2, а давление концентрата в обратной линии 10 манометром М-3. Установленные манометры составляют систему КИП экспериментальной установки.

С другой стороны, пробоотборником ПР-1 происходит отбор пробы исходной воды на линии 6, пробоотборником ПР-2 – отбор пробы очищенной воды на линии 8, пробоотборником ПР-3 – отбор пробы концентрата на линии 10.

Измерение температуры стоков производилось термометром с ценой деления 0,1°C [10]. Содержание фенолов определялось с применением флуориметрического метода [11].

Производительность мембранного разделителя по фильтрату определялась объемным методом с использованием мерного цилиндра и секундомера.

Эффект очистки стоков от фенола Эф, %, определялся по формуле [12]:

$$\text{Эф} = \frac{C_{\text{ф}}^{\text{исх}} - C_{\text{ф}}^{\text{оч}}}{C_{\text{ф}}^{\text{исх}}} \times 100 ,$$

где $C_{\text{фисх}}$ – содержание фенола в стоках, поступающих на очистку мг/л; $C_{\text{фоч}}$ – концентрация фенола в очищенной воде, мг/л.

Температура стоков, поступающих на очистку, составила +19,7...+20,3°C. Результаты опытов представлены в табл.1,2.

Из результатов в таблице 1 можно заключить, что потери давления в мембранных разделителях составляют 3 – 6 м.

При этом, наибольшая производительность по фильтрату наблюдается для разделителя UFal 4040-S, затем следует разделитель марки AP-2,0 Н, и наименьшая производительность наблюдается для разделителя марки dizzer Puozi-1,8.

Таблица 1 – Результаты испытаний на экспериментальной установке (начало)

Table 1 – Test results on the experimental unit (beginning)

Тип разделителя	Поверхность фильтрации, м ²	Давление, МПа			Производительность по фильтрату, м ³ /ч
		на входе	очищенной воды	концентрата	
1	2	3	4	5	6
AP-2,0 Н (Россия, г. Кириши)	2,0	0,10	0,06	0,06	0,14
		0,10	0,05	0,06	0,14
		0,10	0,05	0,04	0,13
		0,15	0,11	0,10	0,19
		0,15	0,10	0,10	0,18
		0,15	0,09	0,10	0,20
		0,20	0,16	0,15	0,26
		0,20	0,15	0,16	0,25
		0,20	0,15	0,15	0,25
Dizzer Puozi-1,8 (ФРГ, фирма IngeGmbH)	1,8	0,10	0,05	0,05	0,10
		0,10	0,05	0,04	0,10
		0,10	0,05	0,05	0,09
		0,15	0,11	0,11	0,12
		0,15	0,11	0,10	0,11
		0,15	0,10	0,11	0,12
		0,20	0,16	0,16	0,17
		0,20	0,16	0,15	0,16
		0,20	0,15	0,15	0,17
		0,20	0,15	0,15	0,17
UFal 4040 HP, Rising Sun Membra-ne Tech-nology Co. Ltd)	4,0	0,10	0,06	0,06	0,20
		0,10	0,06	0,05	0,21
		0,10	0,05	0,05	0,21
		0,20	0,15	0,15	0,25
		0,20	0,15	0,15	0,26
		0,20	0,15	0,14	0,26
		0,30	0,27	0,26	0,32
		0,30	0,26	0,26	0,30
		0,30	0,26	0,26	0,31
		0,30	0,26	0,25	0,32
		0,30	0,25	0,25	0,31
		0,30	0,25	0,25	0,31
		0,30	0,26	0,26	0,30

Таблица 2 – Результаты испытаний на экспериментальной установке (продолжение)

Table 2 – Test results on the experimental unit (continued)

Тип разделителя	Концентрация фенола, мг/л			Эффект очистки, %
	в исходной воде	в очищенной воде	в концентрате	
1	2	3	4	5
AP-2,0 Н (Россия, г. Кириши)	1,1	0,30	20,5	73
	1,2	0,40	22,3	67
	1,3	0,40	24,0	69
	1,3	0,40	28,5	69
	1,0	0,30	24,6	70
	1,2	0,40	26,2	67
	1,2	0,30	25,7	75
	1,1	0,30	25,9	73
	1,0	0,30	24,0	70
dizzerPuozzi-1,8 (ФРГ, фирма IngeGmbH)	1,0	0,20	26,1	80
	1,3	0,20	30,0	85
	1,2	0,20	29,8	83
	1,3	0,30	28,6	77
	1,2	0,20	29,2	83
	1,3	0,20	30,1	85
	1,0	0,20	27,9	80
	1,4	0,30	28,2	79
UFal 4040 HP, Rising Sun Membra-ne Tech-nology Co. Ltd)	1,0	0,20	28,6	80
	1,0	0,20	27,7	90
	1,4	0,20	28,1	93
	1,3	0,10	27,5	85
	1,4	0,20	28,4	93
	1,3	0,10	29,6	92
	1,3	0,10	27,8	92
	1,5	0,10	26,5	95
	1,3	0,10	29,0	92
	1,4	0,10	28,3	93
	2,1	0,20	26,4	90
	3,2	0,30	28,2	91
	3,9	0,20	29,1	95
	5,0	0,30	27,7	94

Согласно данным табл. 2 содержание фенола в воде, поступающей на очистку, не превышало 1 – 5 мг/л, а в очищенных стоках 0,1–0,4мг/л, а концентрация фенола в концентрате составила 20,5–30мг/л.

Из данных таблицы 2 следует, что наибольшей эффективностью при одинаковых показателях исходной воды обладают разделители типа UFal 4040-S, затем следует разделитель марки dizzer Puozi-1,8, и наименьшая эффективность наблюдается при использовании разделителей марки AP-2,0 Н.

Таким образом, для доочистки стоков от фенола рекомендуется использовать мембранные разделители типа UFal 4040-S производства фирмы

Rising Sun Membrane TechnologyCo.Ltd (Китайская Народная Республика).

Заключение

1) эффективность очистки фенолсодержащих стоков с применением мембранных разделителей различных марок составила: для марки AP-2,0 Н – 67-75%, для марки dizzer Puozzi-1,8 – 77-85%, а марки UFal 4040-S – 85-95%;

2) Увеличение давления сточной жидкости на входе в мембранные разделители не приводит к повышению эффективности очистки, однако, но приводит к увеличению образующегося фильтрата;

3) повышение содержания фенола в исходных стоках не приводит к увеличению эффективности мембранных разделителей.

Литература

1. Реутов О.А., Курц А.Л., Бутин К.П. *Органическая химия*, т.3, М.: Лаборатория знаний, 2021, 544 с.
2. Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, И.Н. Лазановская. *Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении*, М.: Высшая школа, 2002, 334с.
3. Н. И. Лихачев, И. И. Ларин, С. А. Хаскин и др. *Канализация населенных мест и промышленных предприятий* / Под общ. ред. В. Н. Самохина., 2-е изд., перераб. и доп., М: Стройиздат, 1981, 639с.
4. Кичигин В.И. *Водоотводящие системы промышленных предприятий*, М.: ЛитРес, 2016, 657 с.
5. В.Н. Шарифуллин, Н.Н. Зитдинов. *Химическая промышленность*, 2000, № 4, С.41-42.
6. Джерад Д.Е. *Основы химии окружающей среды*, М.: Физматлит, 2008, 640 с.
7. В.С. Смирнов, С.Л. Худорожкова, О.И. Ручкина, *Вестник Пермского национального политехнического университета: Строительство и архитектура*, 2017, №2, С.52-63.
8. Р.З. Галимова, И.Г. Шайхиев, Г.Л. Алмазова. *Вестник КТУ*, 2016, №1, С.60-63.
9. А.Б. Адельшин [и др.], *Вода. Химия и экология*, 2014, №8, С.113-117.

10. А.В. Бусарев, А.С. Селюгин, Р.Р. Карама, *Вестник научных конференций*, 2022, №9-1(85), С. 25-28.
11. Лурье Ю.Ю. *Аналитическая химия промышленных сточных вод*. – М.: Химия, 1984, 443с.
12. Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов, В.И. Калицун, *Примеры расчетов канализационных сооружений, Учеб. пособие для вузов* 3-е изд., перераб. и доп., М.: ИД «Альянс», 2008, 255 с.

References

1. Reutov O.A., Kurtz A.L., Butin K.P. *Organic Chemistry*, vol. 3, M.: Laboratory of Knowledge, 2021, 544 p.
2. D.S. Orlov, L.K. Sadovnikova, I.N. Lazanovskaya. *Ecology and Protection of the Biosphere under Chemical Pollution*, Moscow: Higher School, 2002, 334 pp.
3. N.I. Likhachev, I.I. Larin, S.A. Khaskin et al. Haskin et al. *Sewerage of settlements and industrial enterprises / Under general ed. V. N.Samokhin. N. Samokhin*, 2nd edition, revision and supplement, M: Stroyizdat, 1981, 639 p.
4. Kichigin V.I. *Water drainage systems of industrial enterprises*, M.: LitRes, 2016, 657 p.
5. V.N. Sharifullin, N.N. Zitdinov. *Chemical Industry*, 2000, No. 4, P.41-42.
6. Jerad D.E. *Fundamentals of environmental chemistry*, M.; Fizmatlit, 2008, 640 p.
7. V.S. Smirnov, S.L. Khudorozhkova, O.I. Ruchkinova, *Bulletin of Perm National Polytechnic University: Construction and Architecture*, 2017, No.2, P.52-63.
8. R.Z. Galimova, I.G. Shaikhiev, G.L. Almazova. *Herald of Technological University*, 2016, No.1, P.60-63.
9. A.B. Adelshin [et al], *Voda. Chemistry and Ecology*, 2014, No.8, P.113-117.
10. A.V. Busarev, A.S. Selyugin, R.R. Karama, *Bulletin of Scientific Conferences*, 2022, No.9-1(85), P. 25-28.
11. Lurie Yu.Yu. *Analytical chemistry of industrial wastewater*. - Moscow: Khimiya, 1984, 443 pp.
12. Yu.M. Laskov, Y.V. Voronov, V.I. Kalitsun, *Examples of Calculations of Sewerage Facilities, Textbook for Universities*, 3rd ed., revision and supplement, Moscow: Publishing House "Alliance", 2008, 255 p.

© 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, А. С. Зиганшина – канд. хим.наук, доцент каф. Технологии пластических масс, Казанский национальный исследовательский технологический университет, aygul.ziganshina.89@mail.ru.

© А. В. 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, А. S. Selyugin – PhD (Technical Sci.), Associate Professor of the WSS department, KSUACE, sa.789@yandex.ru; Е. Yu. Ermilova – PhD (Technical Sci.), Associate Professor of the WSS department, KSUACE, lizabeta_91@list.ru; А. S. Ziganshina – PhD (Chemical Sci.), Associate Professor of the department of Plastics Technology, Kazan National Research Technological University, aygul.ziganshina.89@mail.ru.

Дата поступления рукописи в редакцию – 25.03.25.

Дата принятия рукописи в печать – 01.04.25.