



УДК 628.16

**Бусарев Андрей Валерьевич**

кандидат технических наук, доцент

E-mail: [reder1@myrambler.ru](mailto:reder1@myrambler.ru)

**Шешегова Ирина Геннадьевна**

старший преподаватель

E-mail: [ig-7@mail.ru](mailto:ig-7@mail.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

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

**Ефремова Регина Юрьевна**

инженер

E-mail: [regina\\_efremova16@mail.ru](mailto:regina_efremova16@mail.ru)

**ООО «Конвентстройинжиниринг»**

Адрес организации: 422624, Россия, РТ, Лаишевский район, н.п. Столбищи,  
ул. Аэропортовская, д. 1

### **К вопросу удаления из природных вод нефтепродуктов методом сорбции**

#### **Аннотация**

*Постановка задачи.* В результате активной хозяйственной деятельности человека в поверхностные источники водоснабжения могут поступать нефтепродукты. Одним из методов очистки природной воды от нефтепродуктов является сорбция. Наиболее эффективно очистка природной воды от нефтепродуктов осуществляется в адсорбционных напорных фильтрах. Целью исследований процессов очистки природной воды от нефтепродуктов методом сорбции является изучение технологических режимов работы напорных адсорбционных фильтров с загрузкой из различных сорбентов.

*Результаты.* Основные результаты исследований состоят в определении наиболее эффективного сорбента для очистки природных вод от нефтепродуктов, а также технологических параметров их очистки в напорных адсорбционных фильтрах.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в определении типа наиболее эффективного сорбента, а также технологических параметров очистки воды из поверхностных источников от нефтепродуктов в напорных адсорбционных фильтрах.

**Ключевые слова:** очистка природных вод от нефтепродуктов, методы очистки природных вод от нефтепродуктов, сорбция, сорбенты для очистки воды от нефтепродуктов, адсорбционный фильтр.

#### **Введение**

В настоящее время нефтепродукты широко используются в технике и промышленности в качестве топлива или смазочных материалов. Это ведет к попаданию данных веществ в поверхностные источники водоснабжения вместе с ливневыми сточными водами или стоками промышленных предприятий [1-3].

Также нефтепродукты могут поступать в поверхностные источники при использовании рек, озер и водохранилищ в целях судоходства [4].

Нефтепродукты присутствуют в природной воде в виде пленки эмульсии типа «нефть в воде» (Н/В) или в растворенном состоянии [4]. Согласно СанПиН 2.1.4.1074-01 концентрация нефтепродуктов в воде питьевого качества не должна превышать 0,1 мг/л. Таким образом, удаление нефтепродуктов из природной воды для нужд населения и промышленных предприятий является актуальной научной проблемой.

#### **Методы удаления нефтепродуктов из природных вод**

Крупнодисперсные нефтепродукты удаляются механическими методами (отстаиванием, фильтрованием, обработкой воды в центробежном поле) [1, 2, 5].

В качестве химических методов очистки природной воды от нефтепродуктов используется окисление. Для этого применяются такие мощные окислители, как хлор,

преманганат калия, перекись водорода. Можно использовать для этих целей озон. К недостаткам применения озона следует отнести сложность его получения, высокую коррозионную активность, а также значительную токсичность [6]. Озонирование позволяет удалить из природных вод растворенные в них нефтепродукты [5].

В настоящее время стали шире применяться для очистки природных вод от нефтепродуктов биологические методы. Так для этих целей используются биосорберы или мембранные биореакторы (МБР), в которых биохимическое окисление сочетается с использованием мембранных разделителей [7]. Содержание нефтепродуктов в воде может быть уменьшено в этом случае с 20 мг/л до 0,5-1,2 мг/л [7].

Для очистки природных вод от нефтепродуктов также используются и физико-химические методы [5, 7]. К ним относятся флотация, электрокоагуляция, мембранное разделение и сорбция [5, 7, 8]. Напорная флотация совместно с реагентной обработкой (добавлением коагулянтов и флокулянтов) имеет недостаточно высокую эффективность очистки воды от нефтепродуктов. Следует активнее применять для этих целей электрофлотацию.

При очистке природных вод от нефтепродуктов методом электрокоагуляции, обычно используются металлические (железные или алюминиевые) растворимые электроды. Электрохимическая обработка природной воды, которой и является электрокоагуляция, снижает кинетическую и агрегативную устойчивость эмульсий типа Н/В за счет образования в ней гидроокисей железа или алюминия в ходе растворения металлических электродов [4].

Авторы работы [5] предлагают осуществлять очистку воды от нефтепродуктов при их небольших концентрациях путем воздействия на нее импульсными электрическими разрядами. Такая обработка позволяет комплексно воздействовать на нефтяные эмульсии первого рода (ультрафиолетовое излучение, волны давления, возникновение в воде активных окислителей и т.п.). Крупным недостатком электрохимической очистки является достаточно большой расход электроэнергии.

Мембранное разделение, используемое для очистки природной воды от нефтепродуктов относится к нанотехнологиям. Оно осуществляется либо под избыточным давлением, либо под действием внешнего электрического поля [7, 8].

Для очистки природных вод от нефтепродуктов используется, как правило, ультрафильтрация, т.е. мембранное разделение, работающие под избыточным давлением, с размерами пор мембран  $10^{-9}$ - $10^{-8}$  [7]. Мембраны обычно изготавливаются из синтетических материалов: полифосфатов (поддерживающий слой) и полиамидов (фильтрующий слой). Они изготавливаются, как правило, в виде полых цилиндров, которые komponуются в модули с целью увеличения производительности мембранных разделителей [7].

Принцип работы мембранных разделителей основан на задержании порами мембран капель нефтепродуктов, размер которых больше размера пор. Таким образом, при работе мембранных разделителей образуются чистая вода (фильтрат) и концентрат (эмульсия с высоким содержанием нефтепродуктов) [7, 8].

К недостаткам мембранных разделителей относятся [7]: а) сложность их эксплуатации; б) достаточно малый срок службы; в) необходимость утилизации концентрата; г) сравнительно высокая стоимость мембран; д) необходимость предварительно очищать воду, поступающую на обработку в мембранные разделители.

В Казанском государственном архитектурно-строительном университете (КГАСУ) имеется опыт очистки воды от нефтепродуктов с использованием мембранных разделителей [8].

Авторы работ [8, 9] предлагают использовать для очистки природной воды от нефтепродуктов адсорбционные фильтры, которые могут быть загружены активированными древесными углями или синтетические сорбенты.

Иногда для сорбционной очистки воды применяются природные сорбенты (клиноптилолит, шунгит) [10].

### Описание экспериментальной установки

На кафедре «Водоснабжения и водоотведения» КГАСУ проводились исследования процессов очистки природных вод от нефтепродуктов с помощью напорных адсорбционных фильтров. Технологическая схема установки, на которой проводились данные исследования, представлена на рисунке. Состоит эта экспериментальная установка из емкости для исходной воды – 1, модели адсорбционного фильтра – 2, насосов, соединительных трубопроводов, запорно-регулирующей арматуры и системы контрольно-измерительных приборов (КИП).

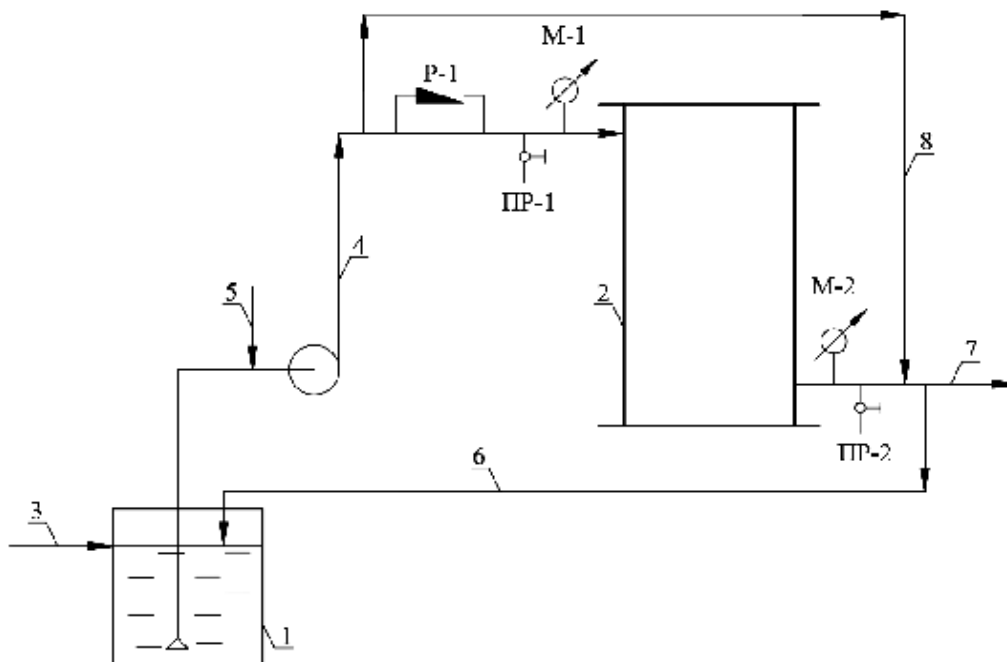


Рис. Технологическая схема экспериментальной установки для очистки природной воды от нефтепродуктов (иллюстрация авторов)

В емкость – 1 по трубопроводу – 3 подается вода питьевого качества. На обработку в модель адсорбционного фильтра – 2 вода подается насосом Н-1 по трубопроводу – 4. Во всасывающую линию насоса Н-1 по трубопроводу – 5 насосом-дозатором подаются нефтепродукты. Очищенная вода отводится от модели фильтра – 2 под остаточным давлением по трубопроводу – 6. Она может сбрасываться в систему водоотведения по трубопроводу – 7. По трубопроводу – 8 избыток воды сбрасывается в систему водоотведения.

На трубопроводе – 4 установлены расходомер Р-1 и манометр М-1 для определения давления на входе в модель адсорбционного фильтра – 2. Этот трубопровод оборудован пробоотборником ПР-1 для отбора проб воды, поступающей на очистку в модель фильтра – 2.

На трубопроводе – 7 установлен манометр М-2 для определения давления на выходе из модели адсорбционного фильтра – 2. Также этот трубопровод оборудован пробоотборником ПР-2 для отбора проб очищенной воды.

Манометры М-1 и М-2, а также расходомер Р-1 входят в состав системы КИП.

Скорость фильтрования в модели адсорбционного фильтра – 2 не превышает 8 м/ч.

Время контакта воды с сорбентом в модели фильтра – 2 составляет 15-20 мин.

Давление на входе в модель адсорбционного фильтра – 2 не превышает 0,6 МПа.

Температура воды, обрабатываемой в адсорбционном фильтре, измеряется термометром с ценой деления 0,1°C.

### Результаты исследований

Концентрация нефтепродуктов в воде измерялась фотоколориметрическим методом [1].

Эффект очистки воды от нефтепродуктов  $\mathcal{E}_n$ , %, определяется по формуле (1) [1, 8]:

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

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

Результаты исследований процессов очистки воды от нефтепродуктов в адсорбционных напорных фильтрах представлены в таблице.

Таблица

Результаты экспериментальных исследований

Тип загрузки	Давление, МПа		Температура воды, °С
	на входе в адсорбционный фильтр	на выходе из адсорбционного фильтра	
1	2	3	4
Активированный уголь АГ-3 с крупностью фракций 0,5-1,5 мм	0,2	0,17	20,1
	0,3	0,27	19,9
	0,4	0,36	20,0
	0,5	0,46	20,2
Сорбент СТН-30 с крупностью фракций 0,5-1,5 мм	0,2	0,27	19,8
	0,3	0,37	19,9
	0,4	0,46	20,1
	0,5	0,56	20,0
	0,2	0,27	20,1
	0,2	0,26	20,2
	0,2	0,17	19,9
	0,2	0,16	20,0
	0,2	0,15	20,1
	0,2	0,16	19,8
Шунгит карельский диаметр фракций 1-3 мм	0,2	0,17	20,1
	0,3	0,27	20,0
	0,4	0,36	20,2
	0,5	0,45	19,9

Таблица

Результаты экспериментальных исследований (продолжение)

Тип загрузки	Концентрация взвеси, мг/л		Эффект очистки, $\mathcal{E}_n$ , %	Скорость фильтрования, м/ч	Время контакта воды с сорбентом, мин
	в исходной воде	в очищенной воде			
1	5	6	7	8	9
Активированный уголь АГ-3 с крупностью фракций 0,5-1,5 мм	2,05	0,18	91	8	15
	2,11	0,19	91	8	15
	1,94	0,19	90	8	15
	1,87	0,16	91	8	15
Сорбент СТН-30 с крупностью фракций 0,5-1,5 мм	1,68	0,1	94	8	15
	1,6	0,09	94	8	15
	1,83	0,12	93	8	15
	1,61	0,09	94	8	15
	1,75	0,1	94	7	17
	1,93	0,09	95	6	20
	1,1	0,08	93	8	15
	1,79	0,1	94	8	15
	2,87	0,19	93	8	15
	4,1	0,32	92	8	15
Шунгит карельский диаметр фракций 1-3 мм	1,86	0,22	88	8	15
	1,94	0,21	89	8	15
	2,1	0,27	87	8	15
	1,78	0,18	90	8	15

Анализ этих результатов позволяет сделать следующие выводы:

- а) наиболее эффективным методом при очистке природных вод от нефтепродуктов сорбции оказался сорбент СТН-30;
- б) концентрация нефтепродуктов в природной воде, очищаемой методом сорбции, не должна превышать 1,5-2 мг/л;
- в) рост давления в адсорбционных фильтрах не влияет на эффективность очистки от нефтепродуктов;
- г) потери напора в адсорбционных фильтрах при очистке природной воды от нефтепродуктов составили 3-5 м;
- д) время контакта природной воды, загрязненной нефтепродуктами, с сорбентом должно быть не менее 15-20 мин;
- е) увеличение времени контакта воды, загрязненной нефтепродуктами, с сорбентом повышает эффективность работы адсорбционных напорных фильтров;
- ж) эффект очистки природной воды от нефтепродуктов для шунгита достигает 87-90 %, для активированного древесного угля марки АГ-7 – 90-91 %, а для сорбента типа СТН-30 – 93-95 %.

### Заключение

Проведенные исследования показали, что, при концентрациях нефтепродуктов в воде до 2 мг/л, можно рекомендовать очистку методом сорбции с использованием напорных фильтров с движением воды сверху вниз. При этом в качестве загрузки напорных фильтров следует применять сорбент СТН-30.

### Список библиографических ссылок

1. 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
2. Busarev A. V., Selygin A. S., Abitov A. N. Experience in the USF of Hydrocyclone plants for industrial Wasterwater treatment: Material of the International Conference «Scientific research of the SCO countries: synergy and intergration – Bijing (China): Minzu University of China, 2019. P. 166–169.
3. Селюгин А. С., Бусарев А. В., Абитов Р. Н. К вопросу очистки нефтесодержащих сточных вод с целью предотвращения загрязнения поверхностных источников: сб. докладов XII Международной научно-технической конференции посвященной памяти акад. РАН С.В. Яковлева / МГСУ. Москва, 2017. С. 108–113.
4. Хаскельберг М. Б. Повышение эффективности удаления нефтепродуктов из сточных вод // Известия Томского политехнического университета. 2014. т. 319. № 3. С. 32–35.
5. Сундукова Е. Н. Химия воды и микробиология. Казань : КГАСУ, 2015. 101 с.
6. Адельшин А. Б., Бусарев А. В., Селюгин А. С., Хисамеева Л. Р. Очистка природных и сточных вод с применением нанотехнологий : сб. мат. XII Международной научно-технической конференции «Нанотехнологии в промышленности» / Татарстанский ЦНТИ. Казань, 2011. С. 14–16.
7. Адельшин А. Б., Бусарев А. В., Селюгин А. С., Гареев Б. М., Манвелян Ш. Г. Исследование процессов очистки поверхностных стоков // Вода: химия и экология. 2014. № 8. С. 113–117.
8. Labunska I., Brigden K., Santillo D., Kiselev A., Johnston P. Russian Refuse III. Investigation of organic and heavy metal contaminants input and distribution in selected rivers of the Russian Federation // Greenpeace Research Laboratories Technical Note. 2014. Vol. 4. P. 14–18.
9. Rafeah Wahi, Luqman Abdullah Chuah, Thomas Shean Yaw Choong, Zainab Ngaini, Mohsen Mobarekeh Nourouzi. Oil removal from aqueous state by natural fibrous sorbent: An over-view // Separation and Purification Technology. 2013. P. 51–63.

10. Тайгунова Г. Р., Бариева Э. Р., Серазеева Е. В. Усовершенствование системы очистки сточных вод : сб. научных трудов SWorld по материалам научно-практической конференции. 2013. т. 37. № 1. С. 28–30.

**Busarev Andrey Valerevich**

candidate of technical sciences, assistant professor

E-mail: [redel1@myrambler.ru](mailto:redel1@myrambler.ru)

**Sheshegova Irina Gennadiевна**

senior lecturer

E-mail: [ig-7@mail.ru](mailto:ig-7@mail.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

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

**Efremova Regina Yurevna**

engineer

E-mail: [regina\\_efremova16@mail.ru](mailto:regina_efremova16@mail.ru)

**ООО «Conventstroyengineering»**

The organization address: 422624, Russia, RT, Laishev dist., Stolbishchi, Airportovskaya st., 1

### To the issue of oil products removal from natural waters by sorption method

#### Abstract

*Problem statement.* As a result of vigorous human activities petroleum products pollute the surface water supplies. Sorption is one of the methods of purification of natural water from oil products. The most effective purification is carried out in adsorption pressure filters. The purpose of researching natural water from petroleum products by the sorption method is to study the effectiveness of its purification using various types of sorbents.

*Results.* The main research results are to determine the most effective sorbent for the purification of natural water from oil products, as well as the technological parameters of their purification in pressure adsorption filters.

*Conclusions.* The significance of the results obtained for the construction industry lies in determining the type of the most effective sorbent, as well as the technological parameters of water purification from surface sources from oil products in pressure head adsorption filters.

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

#### References

1. Busarev A. V., Selyugin A. S., Kayumov F. F. To the question of clearance of surface sewage in hydrocyclone units // *Sovremennye naukoemkie technologii*. 2016. № 10. P. 229–232.
2. Busarev A. V., Selyugin A. S., Abitov A. N. Experience in the USF of Hydrocyclone plants for industrial Wasterwater treatment : mat. of the International Conference «Scientific research of the SCO countries: synergy and intergration – Bijing (China): Minzu University of China, 2019. P. 166–169.
3. Selyugin A. S., Busarev A. V., Abitov R. N. On the issue of purification of oily wastewater in order to prevent pollution of surface sources: collection of articles. Reports of the XII International scientific and technical conference dedicated to the memory of acad. RAS S.V. Yakovleva /MGSU. Moscow, 2017. P. 108–113.
4. Haskelberg M. B. Improving the effectiveness of the removal of oil from wastewater // *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 2014. Vol. 319. № 3. P. 32–35.
5. Sundukova E. N. Water chemistry and microbiology. Kazan : KGASU, 2015. 101 p.

6. Adelshin A. B., Busarev A. V., Selyugin A. S., Khisameeva L. R. Purification of natural and wastewater using nanotechnologies : materials of the XII International Scientific and Technical Conference «Nanotechnologies in Industry» / Tatarstan TSSTI. Kazan, 2011. P. 14–16.
7. Adelshin A. B., Busarev A. V., Selyugin A. S., Gareev B. M., Manvelyan Sh. G. Investigation of surface wastewater treatment processes // Voda: khimiya i ekologiya. 2014. № 8. P. 113–117.
8. Labunska I., Brigden K., Santillo D., Kiselev A., Johnston P. Russian Refuse III. Investigation of organic and heavy metal contaminants input and distribution in selected rivers of the Russian Federation // Greenpeace Research Laboratories Technical Note. 2014. Vol. 4. P. 14–18.
9. Rafeah Wahid, Luqman Abdullah Chuah, Thomas Shean Yaw Choong, Zainab Ngaini, Mohsen Mobarekeh Nourouzi. Oil removal from aqueous state by natural fibrous sorbent: An over-view // Separation and Purification Technology. 2013. P. 51–63.
10. Taigunova G. R., Barieva E. R., Seraseeva E. V. Improvement of the wastewater treatment system: proceedings of the SWorld based on the materials of the scientific-practical conference. 2013. Vol. 37. № 1. P. 28–30.