

# РЕГЕНЕРАЦИЯ С ПОМОЩЬЮ РАСТВОРОВ ПРИРОДНОГО ПАВ СКОРОГО КВАРЦЕВОГО ФИЛЬТРА, ПРИМЕНЯЕМОГО ДЛЯ ОЧИСТКИ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

## REGENERATION OF THE OIL CONTAMINATED RAPID QUARTZ FILTER BY THE NATURAL SURFACTANT SOLUTIONS

Предложен новый способ регенерации нефтезагрязненной мелкозернистой кварцевой загрузки скорого фильтра для очистки ливневых и близких по составу промышленных стоков путем проведения предварительной верхней промывки наиболее загрязненных слоев фильтра растворами природного поверхностно-активного вещества (ПАВ). В качестве активного компонента регенерационного раствора был выбран полисахарид гуммиарабик. Описано моющее действие природного ПАВ по отношению к нефтепродуктам.

Эффективность регенерации мелкозернистой кварцевой загрузки скорого фильтра достигается благодаря обработке наиболее загрязненных слоев фильтрующей загрузки регенерационным раствором природного ПАВ и переводу загрязнений в моющую среду в виде растворов и дисперсий. Представлены результаты эксперимента по определению регенерирующей способности раствора гуммиарабика в сравнении с промывной водой. Выявлена степень регенерации нефтезагрязненной кварцевой загрузки при различных концентрациях регенерационного раствора.

---

**Ключевые слова:** обратная промывка, регенерация скорого фильтра, поверхностно-активные вещества, гуммиарабик, поверхностное натяжение

---

The new method of regeneration of rapid fine-grained quartz sand filters is proposed. The rapid filters are used as a major stormwater and wastewater purification apparatus. The method of the rapid sand filter regeneration is surface washing of the contaminated sand by the nature surfactant solution. Gum Arabic is the unique polysaccharide was selected as an active component of the regeneration solution. The detergency of natural surfactants against oil products is described. The efficiency of rapid sand filters regeneration is achieved by treatment of the most contaminated layers of sand filter by the regeneration solution and through the transfer of contaminants to the detergent solution. The experimental results of the regeneration ability determination of gum Arabic solutions are shown. The degree of the contaminated sand regeneration at different concentrations of regeneration solution are determined.

---

**Key words:** backwash, regeneration of sand filters, surfactants, gum Arabic, surface tension

---

**А.А. Иванова\***, аспирант кафедры «Процессы и аппараты химической технологии», ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»

**М.Г. Беренгартен**, кандидат химических наук, профессор кафедры «Аппаратурное оформление и автоматизация технологических производств», ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»

**М.А. Булатов**, доктор технических наук, профессор кафедры «Процессы и аппараты химической технологии», ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»

---

**A.A. Ivanova\***, postgraduate student of the department of Process and apparatuses of chemical technology, Moscow polytechnic university

**M.G. Berengarten**, candidate of chemical sciences, professor of the department of Instrumentation and automation of technological production, Moscow polytechnic university

**M.A. Bulatov**, doctor of science, professor of the department of Process and apparatuses of chemical technology, Moscow polytechnic university

---

\*Адрес для корреспонденции: sashai0307@yandex.ru

---

А.А. Иванова и др. // № 10 октябрь 2017. с. 24–29.

## Введение

Основные объекты систем очистки поверхностных и производственных стоков рассчитаны на длительный период эксплуатации, в течение которого исходные условия их функционирования вполне закономерно изменяются. Возникающее несоответствие между фактическими условиями и производственными возможностями негативно сказывается на качестве очистки сточных вод.

Улучшение таких показателей качества эксплуатации, как экономичность и экологичность, увеличение производительности и эффективности работы существующих очистных сооружений, приобретает всё более важное значение. Это связано с общей тенденцией уменьшения образования отходов и увеличения степени защиты окружающей среды от негативного антропогенного воздействия.

Очистка ливневых и, близких по составу, промышленных стоков производится для защиты водных ресурсов от загрязнения их нефтепродуктами и взвешенными веществами с применением процессов осаждения и фильтрования, характеризующихся высокой производительностью, невысокими энергетическими и материальными затратами по сравнению с другими процессами, используемыми при водоочистке.

В системах очистки сточных вод отдельные объекты связаны друг с другом, и изменение параметров работы одного из них скажется и на других.

Так, например, проведение правильной, эффективной регенерации, подобранной под определенный сорт фильтрующего материала и вид загрязнения, позволит разгрузить работу очистной станции в целом.

Для осветления промышленных и ливневых стоков и обеспечения глубокой степени очистки на групповых очистных сооружениях воду подвергают фильтрованию через различные загрузки. Наиболее распространёнными являются скорые фильтры с загрузкой из кварцевого песка.

Скорые фильтры обеспечивают удаление основной массы загрязнений, но как показывает многолетняя практика эксплуатации, имеют ряд недостатков: низкую производительность, относительно низкие

скорости фильтрации (5-10 м/ч), трудоёмкость частых операций по регенерации фильтрующего материала, высокие скорости регенерации из-за высокого веса (50 м/ч), а также большой объём воды для разовой промывки.

Обязательным условием, гарантирующим нормальную работу любого фильтра, является его правильная регенерация.

Задачей регенерации фильтра является удаление из толщи фильтрующего материала, особенно из верхних слоев, загрязнений, задержанных в процессе фильтрования. При этом зерна фильтрующего материала должны быть тщательно отмыты и занимать после промывки то положение, которое они занимали при нормальной работе фильтра.

Процесс регенерации скорого фильтра обратным током воды зависит от того, что по своей природе представляет собой загрязняющее вещество, и каким образом оно закреплено на поверхности зернистого материала и определяется двумя параметрами — интенсивностью подачи промывной воды и продолжительностью.

Продолжительность регенерации оказывает влияние на все процессы, происходящие при расширении слоя, снятие (отрыв) загрязнений и их транспортирование, а минимальная интенсивность для регенерационного потока должна быть достаточной для взвешивания всего фильтрующего слоя, вывода загрязнений из объема фильтрующей загрузки в промывную воду. Процесс разрушения вторичного загрязняющего слоя можно интенсифицировать, применяя барботаж воздуха при регенерации. Вводимый в систему воздух создает мгновенное локальное непродолжительное увеличение скорости потока регенерирующей среды, что способствует разрушению слоя загрязнений в фильтрующей загрузке и их перенос в общий объем раствора.

Одними из основных загрязняющих веществ промышленных и ливневых сточных вод являются взвешенные вещества и нефтепродукты. Эмульгированные, тонкоэмульгированные и сорбированные на взвешенных частицах нефтепродукты, оставшиеся после стадии отстаивания, поступают на фильтрацию в скорый фильтр. В пористой среде частицы нефтепродук-

тов прилипают к поверхности фильтрующего материала и задерживаются в мелких порах, что с течением времени приводит к кольматации фильтрующей загрузки [1].

Данное обстоятельство снижает эффективность работы аппарата и затрудняет проведение его гидродинамической проточной регенерации. В результате такой способ не обеспечивает достижения технического результата, направленного на повышение эффективности промывки зернистой загрузки фильтра.

Этот факт имеет важное значение, поскольку метод и условия проведения регенерации существенным образом влияют на условия и параметры фильтрования при эксплуатации скорого фильтра и должны быть учтены на стадии его проектирования.

## Материалы и методы исследований

Для интенсификации процесса регенерации скорых кварцевых фильтров обратным током воды от нефтезагрязнений предлагается проводить предварительную «верхнюю» промывку растворами природного ПАВ с последующей водовоздушной регенерацией.

В качестве активного компонента регенерирующего раствора было выбрано вещество природного происхождения, камедь Сенегальской акации, полисахарид — гуммиарабик, марки AGRI-SPRAY ACACIA RE, производимый компанией AGRIGUM International, Англия [2].

По результатам лабораторного исследования регенерации проб нефтезагрязненной кварцевой загрузки концентрация активного компонента в регенерирующем растворе была выбрана на уровне 1% [3].

Предлагаемая нами технология регенерации скорого фильтра заключается в следующем. При достижении предельно допустимого перепада давления в фильтрующей загрузке подачу воды прекращают, фильтр останавливают на регенерацию.

Остаточное содержание фильтруемой воды спускают в резервуар профильтрованной воды, тем самым опорожняя фильтр.

«Верхнюю» промывку фильтра осуществляют путем подачи регенерирующего раствора через распределительную

систему на поверхность фильтрующей загрузки с интенсивностью 3-4 л/(с·м<sup>2</sup>) и напором 30-40 м при нормальных условиях в течение 2-3 мин, затем проводят промывку фильтра путем подачи в загрузку снизу вверх промывной воды с интенсивностью 14-16 л/(с·м<sup>2</sup>) [4]. Данная интенсивность обеспечивает расширение слоя загрузки и переход зерен загрузки во взвешенное состояние. В процессе регенерации зерна кварца хаотически перемещаются в объеме фильтра и, непрерывно соударяясь друг с другом, очищаются от налипших на них загрязнений, которые, вследствие своей малой плотности, выносятся током воды в приемные желоба. Фильтр промывают 5-8 мин, до тех пор, пока вода, переливаемая в желоб, не станет прозрачной.

Способ интенсифицирует процесс регенерации зернистых фильтрующих материалов, устраняет пристенный эффект образования застойных зон, повышает коэффициент полезного действия (КПД) фильтра, увеличивает в 1,5-2,0 раза межрегенерационный период, снижает расход промывной воды.

Регенерирующее действие раствора гуммиарабика проявляется в удалении жидких и твердых загрязнений с поверхности фильтрующего материала и переводе их в моющую жидкость в виде растворов или дисперсий.

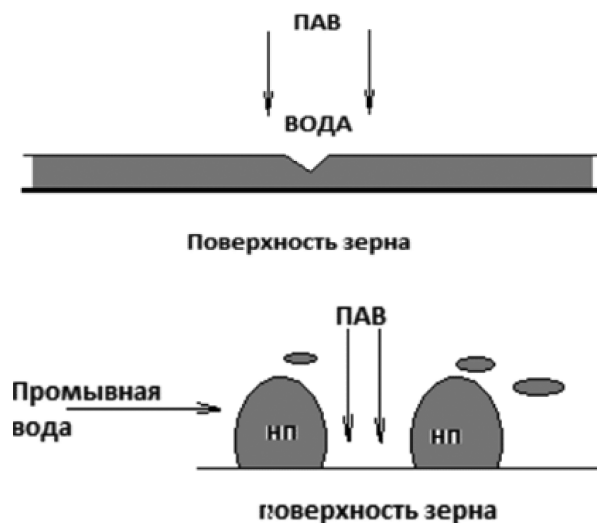


Рис. 1. Механизм удаления нефтезагрязнений с поверхности зерна кварца, где НП — капля нефтепродукта.

Введение в систему «кварц-нефтепродукт» гуммиарабика снижает поверхностное натяжение на границе «нефтепродукт-кварц», вызывая локальные уменьшения пленки нефтепродукта в точке ввода и ее утолщения по радиусу, способствуя удалению загрязнений с поверхности кварца в процессе обратной промывки, *рис. 1* [5].

### **Экспериментальное исследование процесса регенерации нефтезагрязненной кварцевой загрузки**

Реагентная регенерация кварцевой загрузки растворами природного ПАВ это сложный физико-химический процесс, на который влияют большое количество факторов: температура среды, концентрация реагента, время и интенсивность регенерации.

Учет этих факторов усложняет проведение экспериментов. Чтобы избежать искажающего влияния разнообразных факторов при проведении лабораторных экспериментов, было решено ограничиться получением качественных характеристик в сравнительных опытах регенерации нефтезагрязненной кварцевой загрузки скорого фильтра растворами природного ПАВ различной концентрации и промывной водой.

Подтверждение регенерирующей способности гуммиарабика по отношению к нефтезагрязненной фильтрующей загрузке из кварцевого песка проводилось в лабораторных условиях [6].

#### **Объектами исследований явились:**

- Нефтезагрязнённый кварцевый песок, отобранный из скорого фильтра групповых Котляково-Коломенских очистных сооружений после фильтроцикла;
- 0,5%, 1% и 5% растворы гуммиарабика;
- Дистиллированная вода –ГОСТ 6709-72.

#### **Порядок выполнения исследований**

Проба нефтезагрязненного кварцевого песка отбиралась из верхнего слоя загрузки скорых фильтров доочистки ливневых и близких по составу промышленных сточных вод после их вывода на регенерацию. Отбор и хранение проб фильтрующей загрузки проводились по ГОСТ 17.4.3.01-83.

Исследуемый кварцевый песок высушивали при комнатной температуре до «воздушно-сухого» состояния и «разбивали» на пробы массой 50 г.

Для определения степени отмывки кварцевой загрузки предварительно определяли количество нефтепродуктов в фильтрующей загрузке по методике определения нефтепродуктов в почве [7]. Содержание нефтепродуктов в отобранной пробе составило 10,02 мг/дм<sup>3</sup>. Подготовленную пробу загрязненного кварцевого песка помещали в конические колбы объемом 250 мл, заливали 150 мл регенерационного раствора и закрепляли на аппарате АБУ-6С для проведения регенерации.

Для сравнения степени регенерации проводили также отмыв загрязнённого кварцевого песка от нефтепродуктов с использованием промывной воды.

Все опыты проводились в пятикратной повторности.

Частота колебаний была выбрана в соответствии с рекомендациями к АБУ-6С и составляла 125 колебаний в минуту. Таким образом, достигалась имитация водной промывки в промышленных аппаратах. Время регенерации составило 8 минут.

После регенерации определялась степень отмывки кварцевого песка.

Концентрацию нефтепродуктов в отмытой пробе кварцевого песка определяли экстракцией гексаном по методике измерения массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом с использованием анализатора жидкости «Флюорат-02-3М», ПНД

**Таблица 1**

Содержание нефтепродуктов в кварцевой загрузке до и после регенерации

Регенерационный раствор	Содержание нефтепродуктов в пробе кварцевой загрузки до регенерации, $C_{нач}$ , мг/дм <sup>3</sup>	Содержание нефтепродуктов в пробе кварцевой загрузки после регенерации $C_{кон.}$ , мг/дм <sup>3</sup>
Промывная вода	10,02	3,9
0,5% раствор гуммиарабика	10,02	2,5
1% раствор гуммиарабика	10,02	0,29
5% раствор гуммиарабика	10,02	0,21

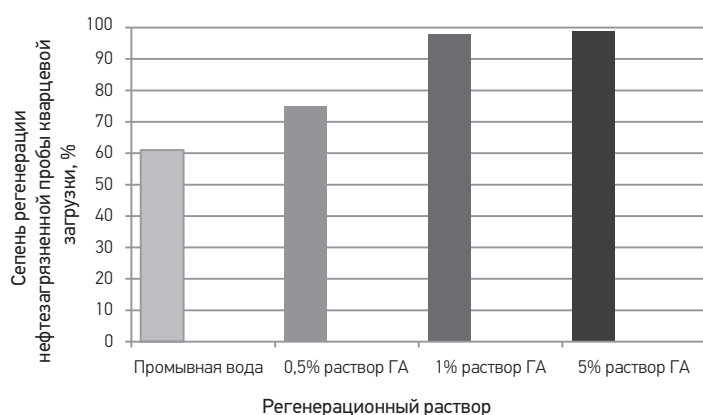


Рис. 2. Степень регенерации нефтезагрязненной пробы кварцевой загрузки фильтра.

Ф 16.1:2.21-98 (издание 2012 г.). Результаты измерений представлены в *табл. 1*.

Для визуального восприятия результатов эксперимента степень отмывки регенерационными растворами гуммиарабика и промывной водой представлена графически на *рис. 2*.

## Результаты и их обсуждение

Результаты экспериментов показали, что при регенерации одинаково загрязненной пробы, степень отмывки нефтезагрязненного кварцевого песка 5% и 1% регенерационными растворами в среднем составила 97,9-98%, что в 1,6 раза эффективней по сравнению с дистиллированной водой. Экономически оправданным будет использование 1% раствора гуммиарабика, так как стоимость одного кг гуммиарабика на российском рынке составляет в среднем 250 рублей.

Степень отмывки 0,5% регенерационным раствором составила 75%, что не обеспечивает достижение технического результата, который заключается в повышении эффективности регенерации мелкозернистой загрузки фильтра за счет повышения степени очистки фильтрующего материала от

нефтепродуктов. По итогам эксперимента можно сделать следующие выводы:

В ходе эксперимента

- была подтверждена способность раствора гуммиарабика к восстановлению фильтрующих свойств кварцевой загрузки;
- выявлена степень способности исследуемого регенерирующего раствора к удалению загрязняющего вещества с поверхности фильтроматериала;
- установлена рабочая концентрация реагента.

## Заключение

Изучение методов регенерации скорых кварцевых фильтров в процессах очистки нефтезагрязненных сточных вод позволяет не только эффективно управлять данным процессом, но оказывает решающее влияние на нормальный режим работы фильтра в целом.

Проведение верхней промывки не требует больших изменений в ныне применяемых технологических схемах очистных сооружений. Однако встает вопрос об утилизации отработанных регенерирующих растворов.

При однократном применении регенерирующего раствора возможно несколько вариантов утилизации:

- слив в начало технологической цепи очистных сооружений, при этом взвешенные вещества и всплывшие нефтепродукты пройдут повторный цикл очистки, активная часть регенерирующего раствора должна быть разбавлена до уровня ПДК;
- утилизация на иловых площадках.

Регенерационные растворы гуммиарабика не требуют специальной технологии утилизации, так как полностью подвергается биологическому разложению в природной среде и могут быть утилизированы любым предложенным способом.

---

## Литература

1. Стахов Е.А. Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий хранения и транспортировки нефтепродуктов. Л.: Недра, 1983. 263 с.
2. Филлипс Г.О. Справочник по гидроколлоидам. Пер. с англ. под ред. А.А. Кочетковой и Л.А. Сарафановой / Г.О. Филлипс, П.А. Вильямс. СПб.: ГИОРД, 2006. 536 с.
3. Иванова А.А. Применение гуммиарабика в моющих композициях ПАВ / А.А. Иванова, М.А. Булатов // Известия МГТУ «МАМИ» 2012. №2(14), т.4. С. 106-109.
4. СНиП 2.04.03–85. Канализация. Наружные сети и сооружения: нормативно-технический материал. – Москва: [б.и.], 1985. <http://files.stroyinf.ru/Data1/1/1997/>.
5. Иванова А.А. Удаление нефтезагрязненных осадков с поверхности кварцевого песка скорого фильтра с использованием природного ПАВ. // Теория и практика массообменных процессов химической технологии (Марушкинские чтения) / Под ред. Самойлова Н.А. Уфа, УГНТУ, 2016. С. 220-222.
6. Иванова А.А. Экспериментальное исследование регенерации зернистого фильтроматериала от нефтепродуктов раствором природного ПАВ. // Фундаментальные и прикладные вопросы науки и образования. Смоленск: ООО «Новаленсо». 2016. С. 109-111.
7. ПНД Ф 16.1:2.21-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом с использованием анализатора жидкости «Флюорат-02».