

УДК 655.557:655.7

## ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ МАСЛО- И НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Е. А. Урецкий<sup>1</sup>, В. В. Мороз<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Компетентный внештатный представитель Корпорации Hoffland Environmental Inc. (USA) 10391 Silver Springs Road Conroe, TX 77303. Environmental technology and equipment, e-mail: euretsky@yandex.by

<sup>2</sup> К. т. н, доцент, заведующий кафедрой природообустройства УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: vovavall@mail.ru

### Реферат

В статье приведены исследованная и детально разработанная эффективная технология очистки масло- и нефтесодержащих сточных вод дорожно-транспортного предприятия «Локомотивное депо Брест».

**Ключевые слова:** pH, флотация, коагуляция, сорбция, осадок, суспензия, взвешенные вещества.

## RESEARCH AND DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR PURIFICATION OF OIL AND OIL-CONTAINING WASTEWATER ROAD TRANSPORT COMPANIES

E. A. Uretsky, V. V. Moroz

### Abstract

The article presents a researched and developed in detail effective technology for the treatment of oil and oil-containing wastewater of the road transport enterprise Locomotive depot Brest.

**Keywords:** pH, flotation, coagulation, sorption, sediment, suspension, suspended solids.

### Введение

Проблема очистки промышленных и ливневых сточных вод от масло- и нефтепродуктов продолжает оставаться одной из острых в водоотведении. Нефтепродукты являются одним из наиболее распространённых антропогенных загрязнителей поверхностных водоёмов, а в некоторых регионах также и подземных источников питьевого водоснабжения.

Опасность присутствия нефти в водных объектах заключается в ее физических свойствах и химическом составе. Нефтяные соединения практически нерастворимы и обычно принимают в воде вид пленки или капельной эмульсии.

Кроме того, при интенсивном перемешивании загрязнённых сточных вод нефтепродукты эмульгируются. Это явление приводит к значительному увеличению их концентрации.

Даже если концентрация примесей невысока, то из-за плотности воды частицы нефти распределяются по поверхности тонким слоем. Нефтяное пятно препятствует самоочищению водного объекта, ухудшая его газообмен, затрудняя поступление кислорода в толщу воды.

Действие нефти на водных обитателей очень токсично, в результате контакта с частицами нефтепродуктов закупориваются клеточные мембраны, происходит существенное угнетение метаболизма.

Нефть – многокомпонентный энергоноситель, состоящий из органики и минеральных соединений, неблагоприятных для природных объектов. Полициклические ароматические углеводороды (антрацен, овален, бензапирен) относятся к высокотоксичным и канцерогенным соединениям, вызывающим мутацию генов.

Содержание нефтепродуктов в сточных водах нормируется законодательством, в котором установлены нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК) содержания нефти и нефтепродуктов. Фактические концентрации примесей нефти должны подвергаться постоянному контролю.

Загрязняющие вещества, содержащиеся в промышленных и ливневых водах (нефтепродукты, взвешенные вещества, тяжёлые металлы и пр.), находятся в виде грубодисперсных суспензий и эмульсий, в коллоидном и растворённом состоянии. Для каждой из групп веществ существуют свои достаточно эффективные методы очистки. Однако для выполнения всех требований, предъявляемых к очищаемым сточным водам для выпуска в водоём, требуется применение целого комплекса методов.

Выбор метода очистки сточных вод предприятий зависит от многих факторов. Это количество сточных вод, различные её виды и расходы, возможность и экономическая целесообразность извлечения примесей из этих сточных вод, требования к качеству очищенной воды при её использовании для повторного, оборотного водоснабжения и сброса в водоем, объема водоема, наличие районных или городских очистных сооружений и т. п. [1, 2, 3].

Для очистки сточных вод от нефтепродуктов применяют:

- механические;
- физико-химические;
- химические;
- биологические методы.

Из механических методов очистки практическое значение имеют отстаивание, центрифугирование и фильтрование; из физико-химических методов – флотация, коагуляция и сорбция, мембранные технологии; из химических методов – хлорирование и озонирование.

Наиболее эффективен и универсален при больших объёмах сточных вод биологический метод. Этот метод очистки сточных вод, как правило, применяется после того, как сточные воды прошли механическую и физико-химическую очистку, но содержат еще достаточно большое количество растворенных и тонкодиспергированных нефтепродуктов, а также других органических загрязнений и не могут быть выпущены в водоем без дальнейшей очистки. Метод основан на биохимическом разрушении органических загрязнений и происходит под воздействием комплекса бактерий и простейших микроорганизмов, развивающихся в водоочистном сооружении. При биологической очистке происходит превращение органических загрязнений в безвредные продукты окисления – H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> и др.

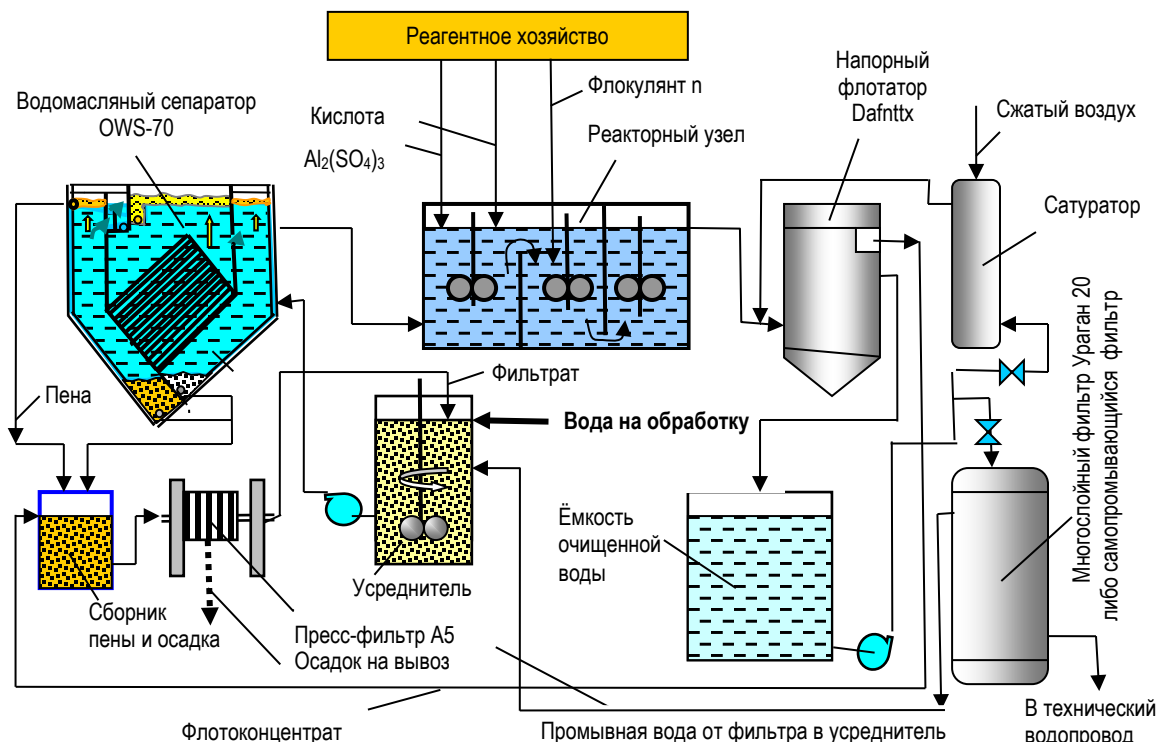
Природоохранное законодательство Республики Беларусь предусматривает ответственность для хозяйствующих субъектов за превышение разрешенных значений воздействия на окружающую среду.

Приведённые методы очистки сточных вод сложны, недостаточно экономичны и не совсем пригодны для очистки сточных вод для небольших предприятий (автобазы, автопредприятия дорожно-транспортные предприятия и пр.)

**Основная часть. Разработка технологии очистки масло- и нефтесодержащих сточных вод предприятия «Локомотивное депо Брест»**

Рассмотрим очистку маслосодержащих сточных вод дорожно-транспортных предприятий на примере разработанной и предложенной

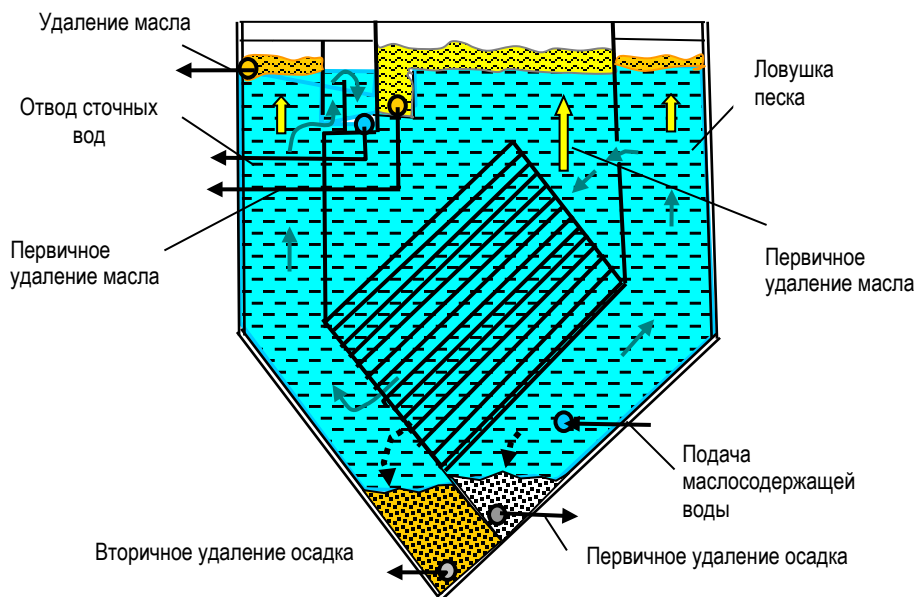
транснациональной корпорацией Hoffland Environmental Inc. (USA) технологической линии такого вида сточных вод для предприятия «Локомотивное депо Брест», показанной на рисунке 1 [4]. В разработке линии принял активное участие полномочный представитель этой корпорации Е. А. Урецкий [5].



**Рисунок 1** – Упрощённая схема очистки маслосодержащих сточных вод предприятия «Локомотивное депо Брест»

В состав оборудования входит водомасляный сепаратор OWS-70 (рисунок 2). Он использует в своей конструкции седиментационную часть, содержащую волнистые коалесцирующие пластины размером 50 × 100 × 75 см в количестве 40 штук, расположенных под углом 45°, общей площадью 11 м<sup>2</sup>. В этой части конструкции свободные концентрированные нефтепродукты поднимаются к поверхности. Этому способствует пакет волнистых параллельно расположенных коалесцирующих пластин, основная функция которых – укрупнение мелких частиц нефтепродуктов.

При контакте частиц нефти с коалесцирующей поверхностью они проходят зоны с практически нулевой скоростью, поток приближается к ламинарному и частицы нефтепродуктов аккумулируются на поверхности элементов, медленно передвигаясь вверх по поверхности пластины и собираются в виде крупных шаровидных капель. Эти капли затем быстро всплывают на поверхность, где они собираются и поступают в сборный лоток нефтепродуктов. Одновременно создаются оптимальные условия для очистки от взвешенных частиц, которые осаждаются в нижней части сепараторов.



**Рисунок 2** – Водомасляный сепаратор OWS-70 (США)

Данный тип сепараторов широко применяется в различных отраслях промышленности для очистки сточных вод моек автомобилей, автозаправочных станций и т. д. Сепараторы обеспечивают эффект очистки стоков от свободных нефтепродуктов до 15 мг/дм<sup>3</sup>. Процесс отделения воды и нефтепродуктов происходит за счёт очистки на коалесцирующем блоке.

Для дальнейшей более глубокой очистки в состав оборудования линии входит напорный флотатор DAFTEX, изображённый на рисунке 3.

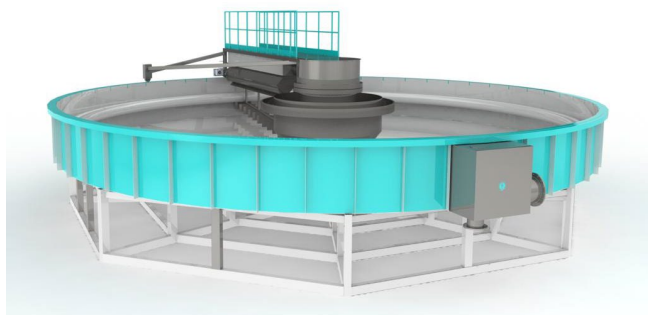


Рисунок 3 – Напорный флотатор DAFTEX (США)

Он состоит из следующих компонентов:

- флотационно-осветлительная ёмкость флотатора, изготавливаемая Брестским локомотивным депо по чертежам Hoffland Environmental Inc. размером 2 × 3 × 1,5 м, объёмом 20 м<sup>3</sup>;
- скребок объёма пены с совмещённой скребковой мешалкой;
- нагнетающий насос;
- системы воздушной инжекции;
- напорной удерживающей ёмкости объёмом;
- пневматические контрольные клапаны;
- система дозирования коагулянта;
- ёмкость смешивания и реакции;
- система контроля величины pH;
- системы удаления осадка;
- флокуляционная ёмкость.

Процесс флотации в нём достигается путём смешивания химически обработанного потока сточных вод под давлением воздушного водяного потока. Система воздушной инжекции вводит сжатый воздух в напорно-удерживающую ёмкость.

Система контрольных пневматических клапанов постоянно поддерживают рабочее давление в напорной ёмкости в пределах 6 МПа, в которой происходит растворение воздуха в рециркуляционной воде.

Когда давление достигает необходимого значения и происходит требуемое насыщение раствора воздухом, данный раствор вводится в поток сточных вод и растворённый воздух стремится высвободиться на поверхность. Флокулированные части и взвешенный осадок под действием пузырьков воздуха собираются в укрупнённые частицы. Молекулярные частицы пузырьков продолжают увеличиваться в объёме и приобретают возможность всплывать на поверхность флотатора. В зоне сбора пены происходит аккумулятивное всплывающих веществ и происходит их скребание. Очищенная вода свободным потоком стекает через распределительную перегородку.

Собранный и накопленный осадок в сгустителе направляется на дальнейшее обезвоживание на фильтр-пресс модели А5, показанный на рисунке 4.

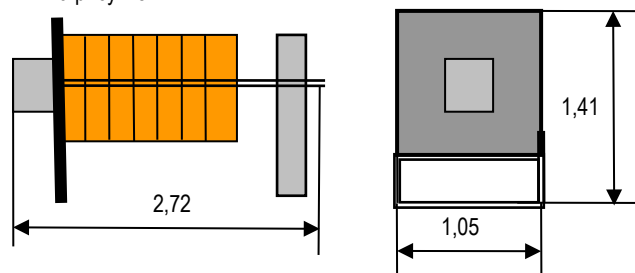


Рисунок 4 – Упрощённая схема фильтр-пресса модели А5 (США)

Техническая характеристика пресс-фильтра:

- объём межкамерного пространства – 0,15 м<sup>3</sup>;
- количество фильтровальных пластин – 17 (1+16) шт.;
- длина 2,72 м, ширина 1,05 м, высота 1,41 м.

Фильтр-пресс состоит из набора вертикально расположенных полипропиленовых плит, опирающихся на горизонтальные балки, закреплённые в неподвижной упорной плите и в стойке. Набор фильтрующих плит сжимается механизмом зажима между концевыми плитами упорной и нажимной. Сжатие осуществляется гидроцилиндром. Создаваемое гидроцилиндром давление составляет 175–210 МПа.

В комплект поставки воздушный диафрагмовый насос с фильтром маслораспылителем, регулятором и глушителем. Полуавтоматический пневматический передвигатель плит облегчает очистку плит фильтр-пресса. Фильтр-пресс имеет двухстадийный контроль, позволяющий иметь слой кека большой плотности. Гидравлическая система поддерживает постоянное давление в камерах вне зависимости от термического расширения. Влажность обезвоженного осадка после реагентной обработки (известкования) 50–60 %.

Хопперы – ёмкости для сбора осадка-шлама с флотационно-гравитационного осаждения осадка и слива воды после разделения осадка самовыгружаемые ёмкости имеют размеры 1,2 × 1,2 × 1 м – вся поверхность обработана специальным резино-эпоксидным раствором, что обуславливает долгий срок службы.

Для доочистки сточных вод запроектирован Хармско-индустриальный кассетный напорный фильтр, модели «Ураган», производительностью 20 м<sup>3</sup>/ч. Фильтр изображён на рисунке 5.

Фильтр отличается лёгким сервисным обслуживанием и запатентованным дизайном. В нём поток вверх имеет 2 зоны сепарации, одна – перед кассетой и следующая – через кассету, что позволяет получить два фильтра в одном. Твёрдый осадок выпадает на дно фильтра и легко удаляется через слив.



Рисунок 5 – Хармско-индустриальный напорно-кассетный фильтр модели «Ураган» (США)

Корпус фильтра выполнен из нержавеющей стали марки 304 (стандарт США) со специальной антикоррозионной обработкой. Фильтровальная кассета обладает долгим сроком службы, легко вытаскивается и промывается. Она отличается лёгким сервисным обслуживанием и запатентованным дизайном поток вверх, имеет две зоны сепарации, одна – перед кассетой и следующая – через кассету, что позволяет получить два фильтра в одном. Твёрдый осадок выпадает на дно фильтра и легко удаляется через слив. Производительность фильтра – 20–25 м<sup>3</sup>/ч, допустимое давление – 12 МПа.

Вместо промышленного кассетного фильтра модели «Ураган» может быть использован динамический песчаный самопромывающийся фильтр марки ДСТ (США), показанный на рисунке 6.

Техническая характеристика фильтра:

- площадь фильтрации – 0,65 м<sup>2</sup>;
- внутренний диаметр – 0,9 м;
- высота – 2,67 м;
- производительность – 3,18–9,54 м<sup>3</sup>/ч;
- скорость фильтрования – 10–15 м/ч;
- максимальное содержание взвешенных веществ в воде: в исходной – 20–100 мг/дм<sup>3</sup>, в осветленной – 2–5 мг/дм<sup>3</sup>.

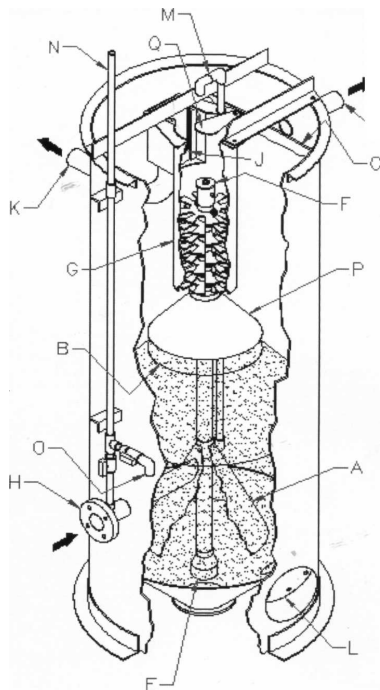


Рисунок 6 – Динамический песчаный самопромывающийся фильтр марки ДСТ (США)

Принцип работы фильтра. Фильтр работает при избыточном давлении 0,1–0,17 мПа (1,01–1,7 атм). Он состоит из распределительного устройства, слоя песка, водослива, отводчика фильтрата, эрлифта, сепаратора, цилиндрического распределительного устройства, эжекционной камеры, сливного патрубка.

Подача воды осуществляется в основание фильтра. Затем вода течёт вверх через ряд труб, равномерно распределяющих её в слое песка через открытое основание конуса распределения входного отверстия (А). Поток течет вверх, через нисходящий движущийся слой песка (В) с удаляемыми твердыми частицами. Очищенный от песка фильтрат переливается через кромку перегородки (С) и отводится из фильтра патрубком (D), (H).

Одновременно слой песка, наряду с накопленными твердыми частицами, отводится вниз по отводящей трубе, которая размещена в центре фильтра. Сжатый воздух подводится в основание эрлифта (Е). Воздух отмывает грязный песок от примесей в трубе воздушной транспортировки, с помощью барботажного восходящего потока. После достижения взвесью вершины (F) грязный жидкий раствор перетекает в центральное отделение (I). Песок возвращается к поддерживающей конструкции через моечную машину/сепаратор благодаря силе тяжести (G), которая позволяет быстрому песку отделиться от грязной жидкости.

Сжатый воздух подводится в основание эрлифта (Е). Воздух отмывает грязный песок от примесей в трубе воздушной транспортировки, по норме 0,797–0,1196 кВт·ч с помощью барботажного восходящего потока. После достижения взвесью вершины (F) грязный жидкий раствор перетекает в центральное отделение (I). Песок возвращается к поддерживающей конструкции через моечную машину/сепаратор благодаря силе тяжести (G), которая позволяет быстрому песку отделиться от грязной жидкости.

В процессе разработки и наладки технологического оборудования и схемы очистки масло- и нефтесодержащих сточных вод предприятия осуществлялся химико-технологический контроль как в США, так и в г. Бресте.

Состав сточных вод на выходе системы и ПДК, доведённые предприятию «Локомотивное депо Брест», приведены в таблице.

Таблица 1 – Состав сточных вод

Показатели	Единица измерения	На выходе	ПДК, установленные для предприятия
Азот аммонийный	мг/дм <sup>3</sup>	27	до 28
Нефтепродукты	мг/дм <sup>3</sup>	0,2–0,8	До 1,0
рН	–	7,5–8,0	6,5–9

#### Заключение

1. Разработана эффективная технология очистки масло- и нефтесодержащих сточных вод для дорожно-транспортных предприятий и в частности предприятия «Локомотивное депо Брест», насыщенная современным высокопроизводительным технологическим оборудованием.

2. Разработанная технология предложена для внедрения Лидскому и Барановичскому дорожно-транспортным предприятиям.

#### Список цитированных источников

1. Урецкий, Е. А. Оптимизация существующих и разработка новых ресурсосберегающих технологий в водном хозяйстве предприятий прибор- и машиностроения : монография / Е. А. Урецкий, Е. С. Гогина, В. В. Мороз. – М. : АСВ, 2022. – 624 с.
2. Degremont. Технический справочник по обработке воды : в 2 т. : пер. с фр. / Л. Андриамирадо [и др.] ; редкол.: М. И. Алексеев [и др.]. – 2-е изд. – СПб. : Новый журнал, 2007. – Т. 2. – 1696 с.
3. Очистка промышленных сточных вод : пер. с нем. – СПб. : Новый журнал, 2012. – 384 с.

#### References

1. Ureckij, E. A. Optimizaciya sushchestvuyushchih i razrabotka novyh resursosberegayushchih tekhnologij v vodnom hozyajstve predpriyatij priboro- i mashinostroeniya : monografiya / E. A. Ureckij, E. S. Gogina, V. V. Moroz. – M. : ASV, 2022. – 624 s.
2. Degremont. Tekhnicheskij spravochnik po obrabotke vody : v 2 t. : per. s fr. / L. Andriamirado [i dr.] ; redkol.: M. I. Alekseev [i dr.]. – 2-e izd. – SPb. : Novyj zhurnal, 2007. – T. 2. – 1696 s.
3. Ochistka promyshlennyh stochnyh vod : per. s nem. – SPb. : Novyj zhurnal, 2012. – 384 s.

Материал поступил 27.10.2023, одобрен 04.01.2024, принят к публикации 16.01.2024