

УДК 628.54

**РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ДООЧИСТКИ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ
ПРОИЗВОДСТВЕННО-ДОЖДЕВЫХ СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ
НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ СТАНЦИЙ**

Маликова Анжела Александровна

магистрант

aamakova@mail.ru

Криволапов Иван Павлович

кандидат технических наук, доцент

ivan0068@bk.ru

Макова Наталья Евгеньевна

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

nemakova@mail.ru

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

Аннотация: рассмотрено усовершенствование технологической схемы очистки сточных вод очистных сооружений нефтеперекачивающих станций с помощью модуля доочистки и обеззараживания. Произведен подбор оборудования, сорбционной загрузки и прибора обеззараживания для предлагаемого модуля. Рассчитана экономическая эффективность от внедрения модуля доочистки и обеззараживания.

Ключевые слова: очистные сооружения, очистка сточных вод, нефтезагрязненные сточные воды.

Нефть и нефтепродукты, широко используемые в промышленности в качестве топлива, смазок, исходного сырья для нефтехимической промышленности и т.д., попадают в значительных количествах в атмосферные, промышленные и хозяйственно-бытовые сточные воды. А вместе с ними поступают в открытые водоемы, почву, подземные водоносные горизонты, нарушая ход естественных биохимических процессов, вызывая гибель флоры и фауны озер, рек и морей, снижая плодородие почв. Таким образом нефтесодержащие сточные воды стали одним из глобальных загрязнителей окружающей среды.

Предотвращение сброса нефтепродуктов со сточными водами довольно сложная инженерная и научная задача. Многие предприятия сталкиваются с проблемой наличия устаревшей системы очистки сточных вод и с отсутствием стадии доочистки и обеззараживания. Поэтому доведение качества химического состава производственно-дождевых сточных вод (ПДСВ) до нормативных показателей является на сегодняшний день актуальной проблемой, требующей инженерного подхода [1, 2].

Объект исследования: Очистные сооружения производственно-дождевых сточных вод промышленных объектов филиала Брянского районного управления (БРУ) АО «Транснефть-Дружба» с отсутствующими стадиями доочистки и обеззараживания: наливной пункт (НП) «Брянск»; линейная производственно-диспетчерская станция (ЛПДС) «Унеча»; ЛПДС «Стальной конь».

Предмет исследования: Эффективность очистки производственно-дождевых сточных вод промышленных объектов нефтеперекачивающих станций.

Цель исследования – разработка модуля доочистки и обеззараживания производственно-дождевых сточных вод для производственных объектов нефтеперекачивающих станций.

Задачи исследования:

- разработать конструкцию и оснащение модуля доочистки и обеззараживания производственно-дождевых сточных вод;

- разработать 3d-модель модуля доочистки и обеззараживания производственно-дождевых сточных вод;
- модернизировать существующие технологической схемы очистных сооружений производственно-дождевых сточных вод производственных объектов трех нефтеперекачивающих станций;
- рассчитать экономическую эффективность от результатов внедрения научной разработки.

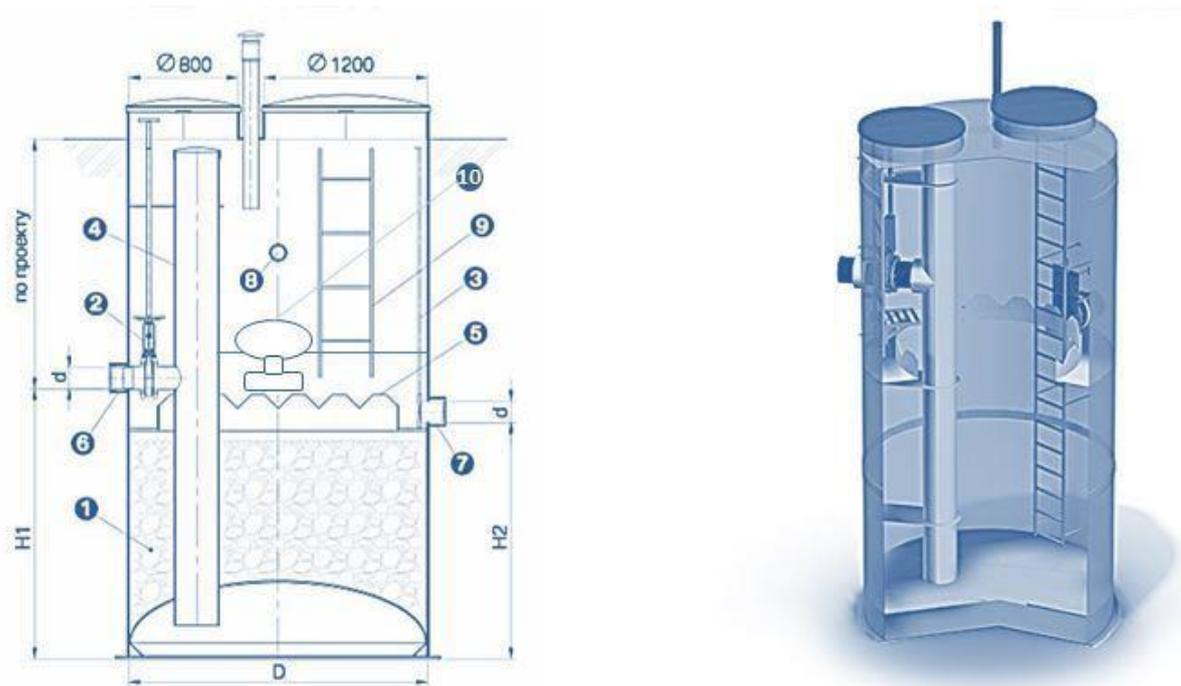
Результаты: в результате исследований был разработан модуль доочистки и обеззараживания сточных вод, позволяющий провести очистку сточных вод до требуемых показателей.

В ходе проведенных нами ранее исследований [1] определено, что состав очищенных сточных вод производственных объектов нефтеперекачивающих станций на финальной стадии очистки не соответствуют нормативным показателям согласно приказу Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 года N 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

В качестве модернизации технологии, мы предлагаем усовершенствовать существующие технологические схемы включением на последней стадии очистки модуля доочистки и обеззараживания, чертеж которого приведен на рисунке 1.

С помощью программы 3ds Max нами была создана 3d-модель модуля доочистки и обеззараживания производственно-дождевых сточных вод, представленная на рисунке 2.

Модернизированные схемы очистных сооружений трех нефтеперекачивающих станций приведены на рисунках 3-5.



1 - сорбционная загрузка; 2 - затвор шиберный; 3 - заслонка шиберная; 4 - распределительно-разгрузочная труба; 5 - круговой сборный лоток; 6 - подводящий патрубок; 7 - отводящий патрубок; 8 - переливной патрубок; 9 –лестница; 10 – УЗО-Водонакопитель.

Рисунок 1 – Схема и общий вид модуля доочистки и обеззараживания производственно-дождевых сточных вод

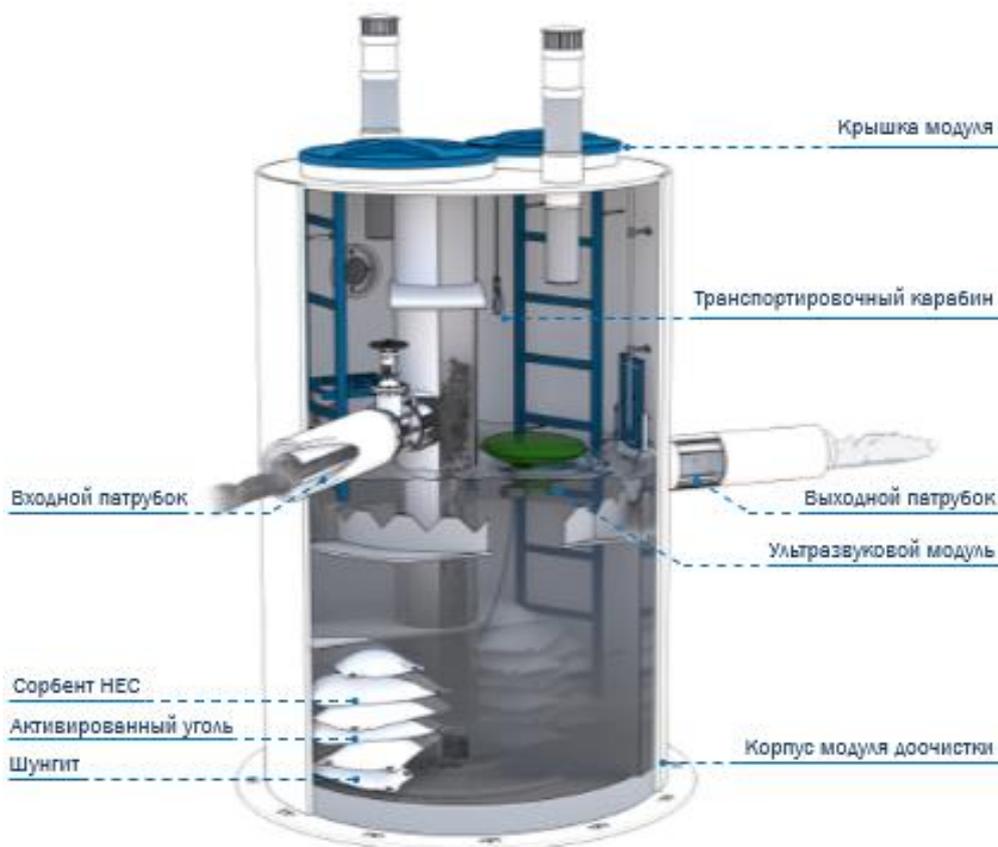


Рисунок 2 – 3D-модель модуля доочистки и обеззараживания ПДСВ

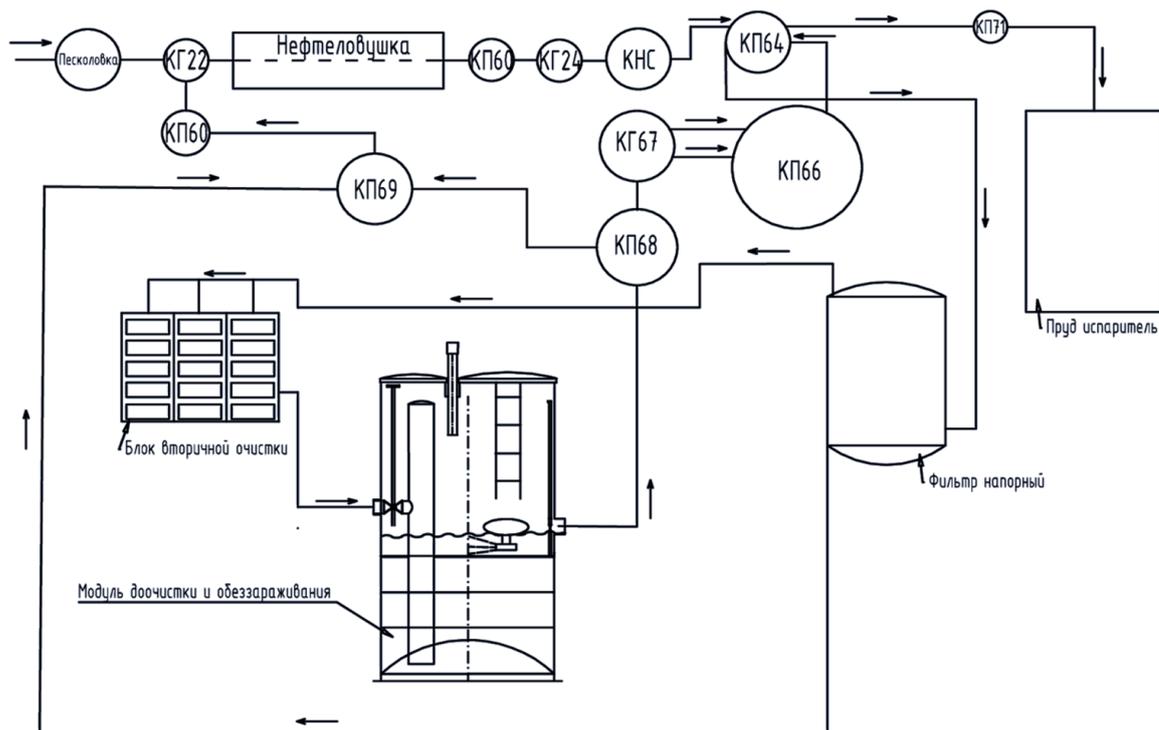


Рисунок 3 – Модернизированная принципиальная технологическая схема очистных сооружений ПДСВ НП «Брянск»

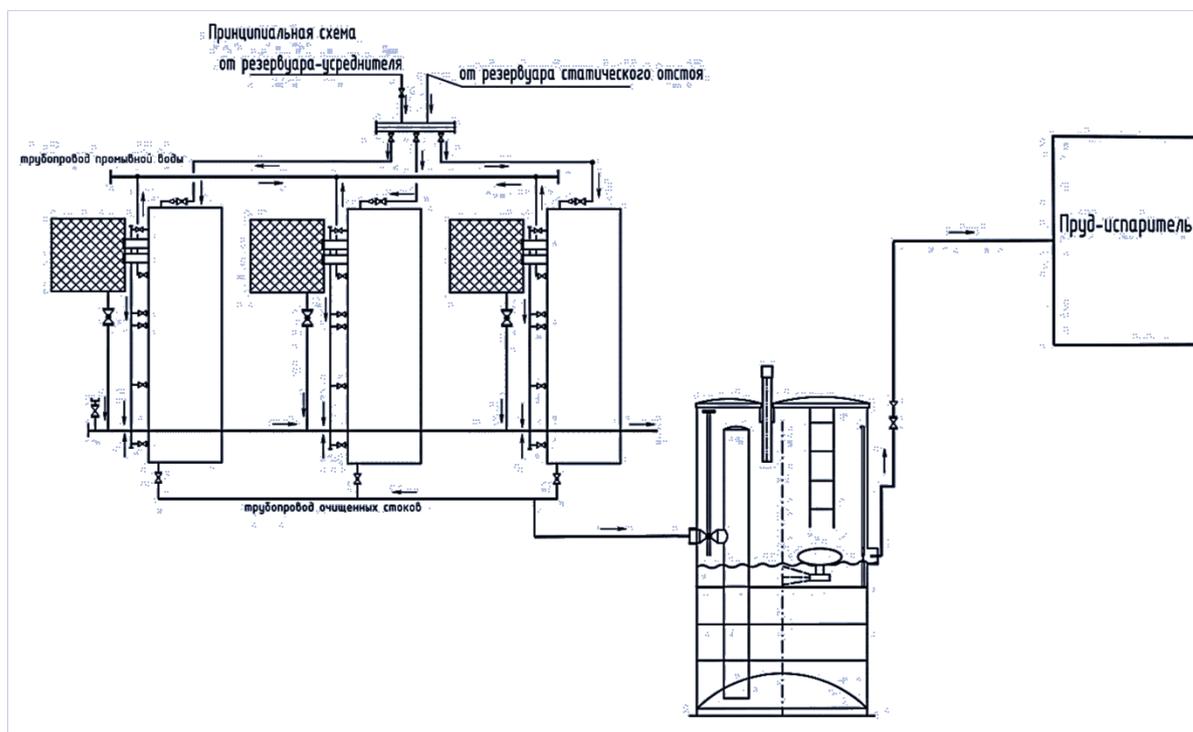


Рисунок 4 – Модернизированная принципиальная технологическая схема очистных сооружений ПДСВ ЛПДС «Унеча»

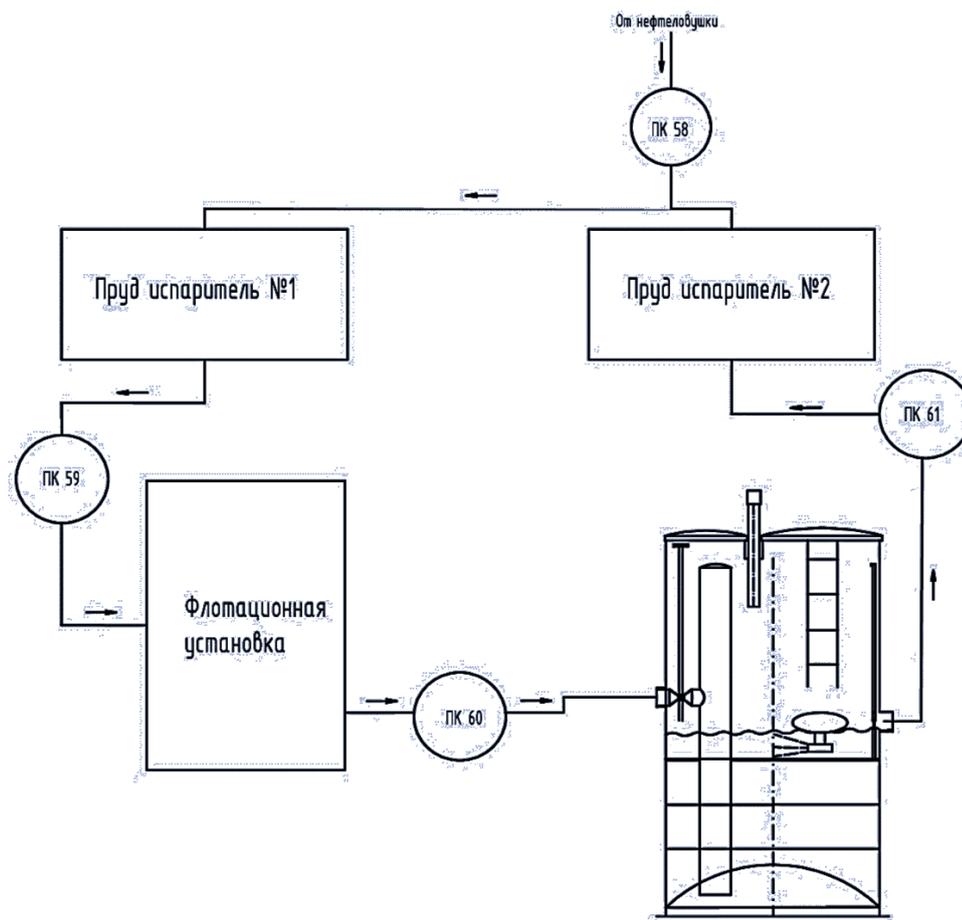


Рисунок 5 – Модернизированная принципиальная технологическая схема очистных сооружений ПДСВ ЛПДС «Стальной конь»

В результате проведенного анализа существующих методов доочистки производственно-дождевых сточных вод [2], было принято решение об использовании метода фильтрации как основы технологического процесса разработки, т. к. реализация данного метода характеризуется простотой, экономичностью эксплуатации и монтажа, минимизацией аварийных ситуаций. Конструктивно предлагаемый модуль состоит из сорбционного фильтра с восходящим потоком жидкости с послойной загрузкой сорбентами трех видов и ультразвукового излучателя для обеззараживания воды.

Сорбционный фильтр представляет собой цилиндрическую стеклопластиковую емкость, выполненную из армированного стеклопластика, с патрубками для поступления и отвода воды [3, 4]. В данном сорбционном фильтре использована динамическая адсорбция, т.е. процесс, при котором раствор адсорбента протекает через неподвижный слой сорбента. Сорбционные фильтры

подобного типа выпускаются без надземного здания, предназначены для подземного размещения. Материал - армированный стеклопластик- выбран для того, чтобы выдерживать нагрузки от давления грунта и грунтовых вод на конструкцию фильтра. Были рассчитаны основные технические характеристики используемого фильтра, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики фильтра сорбционного безнапорного

Производительность, м ³ /ч Q	Масса корпуса, кг	Диаметр, мм D	Диаметр вход/выход патрубка., мм dвх/ dвых	Высота вход. патруб.мм Hвх	Высота вых.. патруб. мм Hвых
20	400	2200	160	2000	1750

При фильтрации воды снизу-вверх легко реализуется принцип фильтрации в направлении убывающей крупности зерен загрузки, вследствие чего значительно улучшаются условия работы фильтра. В мелкозернистые слои вода поступает уже значительно очищенной, благодаря чему исключается заиливание мелкозернистых слоев и достигается более равномерное распределение загрязнений по высоте фильтра. В результате обеспечивается повышенная грязеемкость фильтра, увеличивается продолжительность фильтроцикла, лучше используется строительный объем фильтра [2, 4].

Эффективность очистки предлагаемого модуля доочистки и обеззараживания производственно-дождевых сточных вод, представлена в таблице 2.

Таблица 2

Эффективность очистки сорбционными фильтрами

Вид загрязнений	Характеристика исходной сточной воды, мг/дм ³	Характеристика очищенной сточной воды, мг/дм ³	Нормативные показатели, мг/дм ³
Взвешенные вещества	до 10	1-3	3
Нефтепродукты	0,3-0,5	0,03-0,05	0,05

В паспортных данных безнапорного сорбционного фильтра с зернистой нагрузкой указана эффективность очистки, представленная в таблице 2. В результате сравнения с нормативными показателями, можно сделать вывод о том, что степень очистки соответствует требованиям.

В качестве сорбционной загрузки используется композиция из 3 сорбентов: природный камень шунгит, активированный уголь и гидрофобный сорбент НЕС. Объем загрузки по рассчитанным характеристикам фильтра составляет 6 м³. В нижней части емкости засыпан шунгит, который в большей степени предназначен для удаления из воды взвешенных веществ. Далее следует слой активированного угля. В верхней части емкости находится слой сорбента НЕС, который эффективно убирает из сточной воды нефтепродукты. Сорбент представляет собой композитный материал на основе природных алюмосиликатов. Сточные воды поступают в накопительную емкость через приемный патрубок, проходят через слой шунгита и аккумулируются в общем объеме емкости. Далее вода проходит через слой активированного угля и гидрофобного сорбента НЕС, где и происходит удаление нефтепродуктов.

Шунгит обладает полифункциональными сорбционными свойствами и позволяет удалять из воды различные примеси как органической (нефть, нефтепродукты, диоксины, пестициды), так и неорганической природы (хлор, тяжёлые металлы и др.), а сорбировать на своей поверхности бактериальные клетки [1, 5].

Шунгит как сорбент характеризуется рядом положительных характеристик:

- высокой адсорбционной способностью и технологичностью, характеризующейся малым сопротивлением напора жидкости;
- механической прочностью и малой истираемостью;
- коррозионной устойчивостью;
- способностью к сорбции многих веществ как органических (нефтепродуктов, бензола, фенола, пестицидов и др.) так и неорганических (хлор, аммиак, тяжёлые металлы),

- каталитической активностью;
- сравнительно низкой стоимостью;
- экологической чистотой и безопасностью.

Если сравнивать по эффективности шунгит с другими сорбентами (по способу фильтрации), например, с активированным углём, то шунгит, уступает активированному углю лишь низкой пористостью и внутренней поверхностью.

По данным исследований, выполненных во Всероссийском научно-исследовательском институте минерального сырья им. Н. М. Федоровского по эффективности шунгит проигрывает активированному углю на первом этапе фильтрации, в течение первых 250 часов, в дальнейшем шунгит начинает очищать воду с более высокой и постоянной скоростью. Это объясняется каталитическими свойствами шунгита, способностью каталитически окислять сорбируемые на его поверхности органические вещества. Эти качества позволяют использовать шунгит в качестве материала фильтра для очистки сточных вод от органических и хлорорганических веществ (нефтепродуктов, пестицидов, фенолов, поверхностно-активных веществ, диоксинов и др). Предполагается, что шунгит способен поглощать кислород, активно взаимодействуя с ним, как сильный восстановитель в воде и на воздухе. В этом процессе образуется атомарный кислород, являющийся сильнейшим окислителем и окисляющий адсорбированные на шунгите органические вещества до CO_2 и H_2O , освобождая поверхность шунгита для новых актов адсорбции. Длительное воздействие шунгита по отношению к растворенным в воде катионам металлов Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} и Fe^{3+} объясняется тем, что металлы переводятся каталитически активным шунгитом в форму нерастворимых карбонатов, за счет процесса взаимодействия с CO_2 , который генерируется при окислении органических веществ кислородом.

Нефлесорбент НЕС, представляющий собой материал на основе природных алюмосиликатов, содержащий некоторое количество гидрофобизирующих добавок. Гидрофобизирующая композиция обладает химическим

сродством к носителю — алюмосиликату и придает ему гидрофобные и олеофильные по отношению к нефти и нефтепродуктам свойства. Практика совместного применения активированного угля и сорбента НЕС обнаружила существенные технологические преимущества последнего над первым [1, 2, б]:

- не происходит вымывания мелкой фракции сорбента в очищаемую воду и повторного загрязнения окружающей среды;

- не изменяется гидравлическое сопротивление после длительного использования сорбента, при этом качество очищенной воды остается одинаковым;

- НЕС улавливает не только растворенные, но и эмульгированные в воде нефтепродукты;

- НЕС поглощает нефтепродукты в широком диапазоне вязкости.

Кроме того, сорбенты группы НЕС:

- обладают высокой гидрофобностью;

- пожаробезопасностью;

- устойчивы при длительном хранении;

- не оказывают вредного воздействия на окружающую среду, так как изготавливаются из инертных материалов природного происхождения;

- процесс их утилизации не сопровождается вторичным загрязнением.

Сорбционная загрузка упакована в нетканые мешки из 100% полипропилена, обладающего гидрофобными свойствами. Мешки с различными типами сорбента уложены слоями на дно модуля доочистки. Транспортировка мешков происходит при помощи троса и карабина через верхнюю крышку модуля.

Предложенный вариант послойной загрузки с восходящим потоком фильтрации позволяет эксплуатировать модуль без дополнительной загрузки в течение 2-3 лет.

Технологический регламент АО «Транснефть-Дружба» предусматривает наличие на финальной стадии очистки процесса обеззараживания очищенной воды с целью удаления патогенных микроорганизмов. В предлагаемом модуле процесс обеззараживания осуществляется с помощью ультразвукового прибора серии УЗО-водонакопитель (рисунок 6), который располагается внутри сорбционного фильтра на поверхности или в объеме очищаемой воды.



Рисунок 6 – Прибор УЗО - Водонакопитель для обеззараживания очищенной воды

В комплекте предоставляется блок электроники, выполненный из поликарбоната, пожароустойчивый и электробезопасный. Блок устойчив к высокой влажности воздуха, но следует избегать попадания в него атмосферных осадков и воды.

Преобразователь ультразвука заключен в герметичный корпус из нержавеющей стали. Все материалы устойчивы к воздействию ультрафиолетового излучения.

Ультразвуковые приборы серии УЗО-Водонакопитель просты в эксплуатации, не требуют специальных знаний и навыков, используются как в небольших бытовых емкостях - водонакопители, резервуары хранения воды, септики, так и в больших резервуарах и водоемах технического и бытового назначения [3, 6].

Таблица 3

Технические характеристики прибора УЗО-Водонакопитель

Технические характеристики	УЗО-Водонакопитель 150
Объем резервуара (max)	350 000 м ³
Питание	220-230 Вт
Потребляемая мощность	40 Вт

Рабочая частота УЗ-колебаний	20-80 кГц
Режим работы	круглосуточно
Температурный режим	от 0 до 50 t °С
Использование в агрессивных средах	да
Габариты эл. блока (ДхШхВ)	180*180 мм
Габариты УЗ-излучателя	180*53 мм
Длина кабеля УЗ-излучателя	16 м
Вес прибора в упаковке	4 кг

Приборы легко монтируются и демонтируются, что делает возможным использование одного прибора в разных резервуарах или емкостях, в зависимости от преследуемых целей и поставленных задач. Приборы УЗО безопасны для человека, животных, птиц, рыб и растений, не требуют особого технического обслуживания.

На рисунке 7 представлены возможные варианты размещения ультразвукового прибора для обеззараживания производственно-дождевых сточных вод.

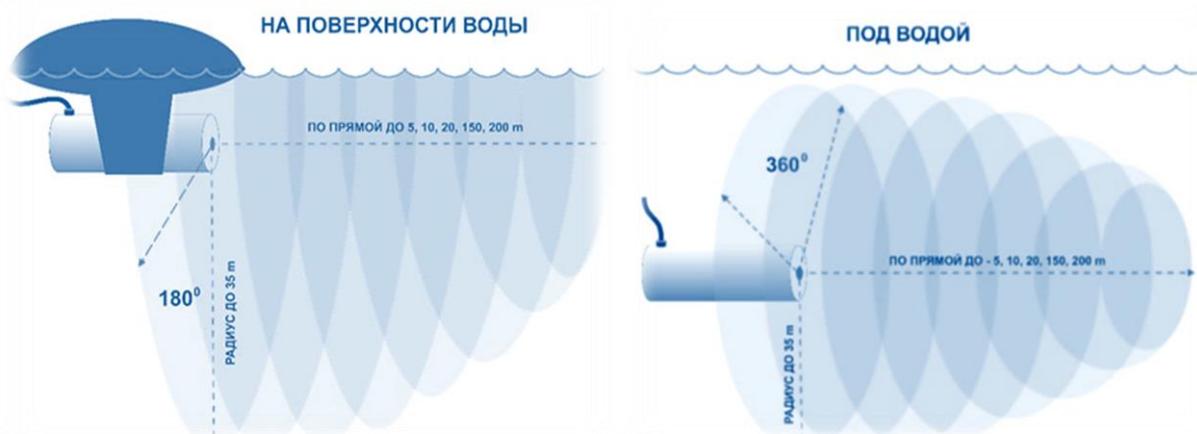


Рисунок 7 – Пример расположения ультразвукового прибора относительно поверхности воды

К сожалению, на рынке РФ, особого выбора среди ультразвуковых обеззараживателей воды нет. В основном это большие промышленные установки

отечественного производства, потребляющие очень большое количество электроэнергии, и делают их только под заказ [4, 7]. Приборы серии УЗО-водонакопитель используются в промышленности для обеззараживания сточных вод на различных участках очистки. Например, на рисунке 8 представлена динамика изменения внешнего вида сточной воды во вторичном отстойнике очистных сооружений в течение одного месяца.

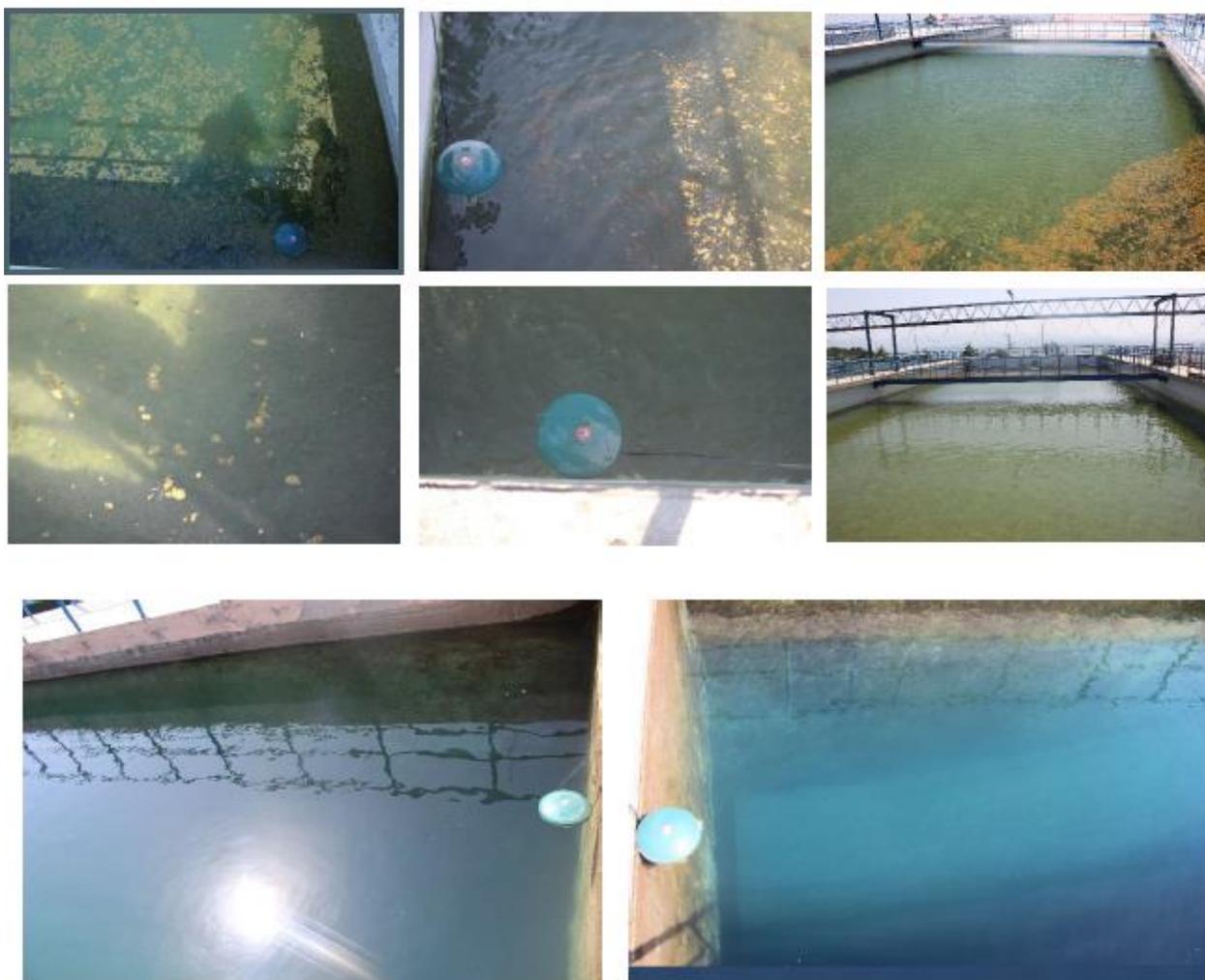


Рисунок 8 – Динамика изменения очищенной сточной воды с применением прибора для ультразвукового обеззараживания

Произведем расчет стоимости модуля доочистки и обеззараживания ПДСВ. Расчет стоимости доработки существующей технологической схемы очистки ПДСВ включает в себя стоимость безнапорного фильтра, применяемых сорбционных загрузок и ультразвукового излучателя УЗО-Водонакопитель.

Стоимость безнапорного сорбционного фильтра составляет 673 тыс. руб. без НДС согласно коммерческому предложению ООО «Эколайн».

Стоимость загрузки шунгита составляет 168 000 руб/м³, активированного угля - 81 800 руб/м³, сорбента НЕС - 70 000 руб/м³.

Рассчитанный объем загрузки одного фильтра составляет 6 м³ (по 2 м³ каждого сорбента). Суммарная стоимость загрузки фильтра – 639 600 руб.

Стоимость прибора УЗО-Водонакопитель составляет 137 160 руб согласно коммерческому предложению ООО «Оксидатор». Ультразвуковой излучатель устанавливается на поверхности воды.

Таким образом, суммарная стоимость модуля доочистки и обеззараживания составляет 1 449 760 руб.

Выполним расчет экономической эффективности от применяемой разработки. Расчет экономического эффекта предлагаемой технологической схемы производится в сравнении с типовыми проектными решениями ПАО «Транснефть» по реконструкции очистных сооружений.

Экономический эффект внедрения предлагаемой технологической схемы представлен в таблице 4.

Таблица 4

Экономическая эффективность внедрения модуля доочистки и обеззараживания

Стоимость оборудования станции очистки ПДСВ 20м ³ /сут, выпускаемой заводом ТРМЗ АО «Транснефть-Сибирь», без учета НДС, тыс. руб	Стоимость строительных работ, тыс. руб.	Стоимость монтажных работ, тыс. руб.	Стоимость модуля доочистки и обеззараживания сточной воды, без учета НДС, тыс. руб.
56 135,1	14 125,1	2 235,3	1 449,8
ИТОГО: 72 495,5			
Экономический эффект, тыс. руб.	71 045,7		

В результате расчета суммарная стоимость установки типовой схемы очистки составила 72 495 500 руб. Суммарная стоимость модуля доочистки и

обеззараживания – 1 449 760 руб, что в 50 раз меньше стоимости установки типовой схемы.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Проведена оценка эффективности работы существующих очистных сооружений производственно-дождевых сточных вод на промышленных объектах нефтеперекачивающих станций, неоснащенных установками доочистки и обеззараживания сточных вод;

2. Разработан модуль доочистки и обеззараживания производственно-дождевых сточных вод эффективностью очистки, соответствующей нормативным показателям;

3. Модернизированы технологические схемы очистных сооружений для производственно-дождевых сточных вод;

4. Рассчитан экономический эффект от результатов внедрения научной разработки.

Выявлены следующие преимущества предложенной технологии очистки в сравнении с типовыми проектными решениями:

- Отсутствие насосного оборудования, как следствие, минимизация рисков образования внештатных ситуаций при эксплуатации;

- Не требует сооружения технологических помещений;

- Невысокая стоимость;

- Простота в эксплуатации, минимизация технического обслуживания и текущего ремонта оборудования по сравнению с типовыми решениями;

- Возможность дооборудования технологических схем очистных сооружений с отсутствующей стадией доочистки и обеззараживания производственно-дождевых сточных вод промышленных объектов предприятия.

Список литературы:

1. Макова А.А. Повышение эффективности очистных сооружений для нефтезагрязненных сточных вод / А.А. Макова, И.П. Криволапов, Н.Е. Макова // Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК: сборник материалов Международной научно-практической конференции 24-26 октября 2018 года / под общ. ред. В.А. Солопова. – Мичуринск: Изд-во Мичуринского ГАУ – 2018. – с. 64-71.
2. Макова А.А. Разработка способа доочистки и обеззараживания нефтезагрязненных сточных вод / А.А. Макова, И.П. Криволапов, Н.Е. Макова // Агротехнологии XXI века. «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова». – 2019 – с. 341-347
3. Макова Н.Е. Статистические свойства биометрических показателей / Н.Е. Макова, Э.Н. Аникьева, А.А. Аникьев // Плодоводство и ягодоводство России. – 2012. – Т. 34. – № 2. – С. 20-29.
4. Автоматизированная система оценки урожайности сортов плодовых и ягодных культур по их морфометрическим индексам / А.А. Аникьев, Н.Е. Макова, Э.Н. Аникьева, А.А. Макова // Сб. тр. между. научно-практ. конф. «Робототехника в сельскохозяйственных технологиях». – Мичуринск: Издательство ООО «БИС». – 2014. – С. 52-57.
5. Проблемы утилизации отходов сельскохозяйственных производств и пути их решения / М.С. Колдин, И.П. Криволапов, С.И. Киселев, Т.Ю. Холопова // В сборнике: Тенденции развития агропромышленного комплекса глазами молодых ученых Материалы научно-практической конференции с международным участием. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный аграрно-технологический университет имени П.А. Костычева». – 2018. – С. 45-49.

6. Determination of the air purification efficiency when using a biofilter // I.P. Krivolapov, A.Yu. Astapov, D.V. Akishin, A.A. Korotkov, S.Yu. Shcherbakov // Journal of Ecological Engineering. – 2019. – Т. 20. – № 11. – С. 232-239.

7. Завражнов А.И. Применение газоразделительных мембран при производстве ягодного сока функционального назначения / А.И. Завражнов, Е. Кузнецова // International Journal of Engineering and Advanced Technology. - 2019. - Т. 9. - № 1. - С. 6616-6619.

UDC 628.54

**DEVELOPMENT OF A MODULE FOR POST-TREATMENT AND
DISINFECTION OF INDUSTRIAL RAINWATER FOR PRODUCTION
FACILITIES PUMPING STATION**

Angela Alexandrovna Malikova

Undergraduate

aamakova@mail.ru

Ivan Pavlovich Krivolapov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

ivan0068@bk.ru

Natalia Evgenievna Makova

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

nemakova@mail.ru

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

Annotation. The paper considers the improvement of the technological scheme of wastewater treatment at oil pumping stations with the help of the after-treatment and decontamination module. The selection of equipment, sorption loading and disinfection device for the proposed module was made. The economic efficiency of the introduction of the module of post-treatment and disinfection is calculated.

Key words: treatment facilities, waste water treatment, oil-contaminated waste water.