

СОВРЕМЕННЫЕ ФИЛЬТРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРОМЛИВНЕВЫХ СТОЧНЫХ ВОД

А.М. Кравцов, канд. тех. наук, В.Ф. Круглый, Е.А. Круглая, студенты (УО БГАТУ)

Аннотация

В статье приведены анализ современного состояния в области очистки промливневых нефтесодержащих сточных вод предприятий Республики Беларусь и обзор существующих фильтрующих материалов. На основании аналитического обзора определены перспективные направления научных исследований для совершенствования и широкого внедрения в народное хозяйство республики прогрессивных технологий и сооружений водоочистки.

Введение

В настоящее время все больше внимания и в мире и в Республике Беларусь уделяется проблемам загрязнения окружающей среды. Одним из путей решения обозначенной проблемы является снижение воздействия вредных факторов на водную среду. Наиболее распространенными загрязнителями поверхностных и подземных вод являются нефтепродукты, которые содержатся в производственных и ливневых сточных водах различных предприятий, например, нефтебаз и АЗС, авторемонтных предприятий и локомотивных депо, гаражей и стоянок машин, автопарков и дворов сельскохозяйственной техники, котельных и т.д. При этом следует учитывать многочисленность таких объектов, суммарное воздействие которых на экологическую ситуацию огромно, и продолжает возрастать в силу бурного развития автомобильного транспорта с обслуживающей инфраструктурой. В настоящее время предприятия различных отраслей народного хозяйства Республики Беларусь, которые могут сбрасывать нефтесодержащие сточные воды без должной очистки, исчисляются тысячами. В этом случае в водные источники ежегодно попадают тонны нефтепродуктов, загрязняя окружающую среду. Такое положение вызвано рядом причин, и, в первую очередь, несовершенством технологических схем и конструкций очистных сооружений.

Основная часть

Обзор показал, что на сегодняшний день основная часть очистных сооружений нефтесодержащих сточных вод построена по типовым проектам двадцати - тридцатилетней давности, например, ТП 902-2-172 (рис.1), которые сейчас не удовлетворяют современным экологическим требованиям и стандартам. В соответствии с технологической схемой этих проектов очистка сточных вод производится в отстойнике-нефтеловушке и в фильтре с загрузкой из различных материалов (древесная стружка, синтетические гранулы и волокна, керамзит и др.). Безусловно, оправдан выбор двух базовых природных процессов осаждения и фильтрования. В принципе эти процессы и соответствующие сооружения могут обеспечить достаточно высокую степень очистки. Однако, как показывает практика, при эксплуатации таких сооружений

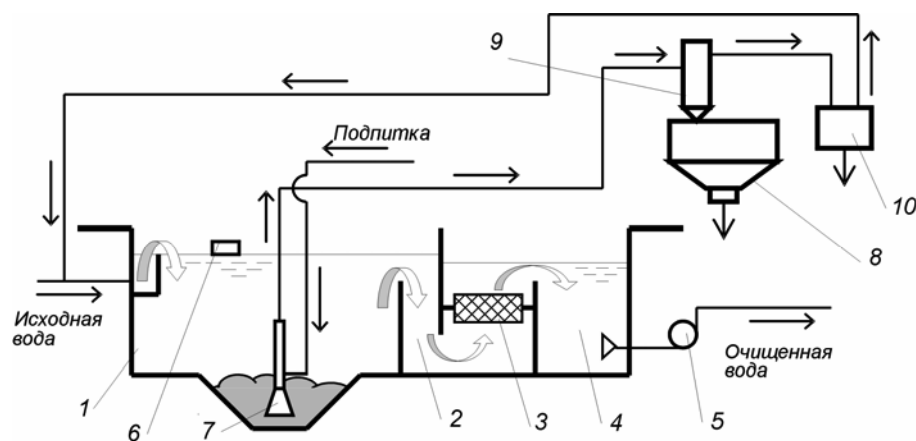


Рисунок 1. Технологическая схема по типовому проекту ТП 902-2-172: 1 – горизонтальный отстойник; 2 – распределительная камера; 3 – каскадный фильтр; 4 – водозаборная камера; 5 – насос; 6 – маслосборник; 7 – гидрозлеватор; 8 – бункер для осадка; 9 – напорный гидроциклон; 10 – фильтр доочистки сливной воды.

возникает ряд сложностей.

Основная проблема состоит в том, что отстойник-нефтеловушка не может обеспечить высокую степень очистки, и на фильтр приходится слишком большая нагрузка, что приводит к быстрой колюматации фильтрующей загрузки и необходимости частой ее замены с использованием ручного труда. При этом возникают проблемы утилизации не только извлеченных нефтепродуктов и твердых минеральных осадков, но и отработанных фильтрующих загрузок, что является большой проблемой и вообще снижает смысл природоохранных мероприятий, т.к., например, при сжигании синтетических загрузок возникает новая проблема загрязнения атмосферы продуктами сгорания, в том числе ядовитыми и канцерогенными. В большинстве же случаев, на практике, отработанную фильтрующую загрузку, пропитанную нефтепродуктами, вывозят на полигоны бытовых и промышленных отходов. А порой выбрасывают на несанкционированных свалках, в лесных массивах, оврагах и т.д. При этом следует заметить, что разложение некоторых синтетических материалов может происходить сотни лет.

Устранение проблемы, на наш взгляд, может быть обеспечено решением ряда задач: во-первых, включением между двумя базовыми процессами, осаждения и фильтрования, вспомогательных процессов, снижающих нагрузку на фильтр; во-вторых, в качестве фильтрующих загрузок должны использоваться недорогие и регенерируемые материалы с коалесцирующими и сорбционными свойствами; в-третьих, необходимым условием является возможность безопасной утилизации отработанных фильтрующих загрузок, отдавая предпочтение не сжиганию, а использованию в производстве, например, в качестве заполнителя при изготовлении строительных изделий, дорожных покрытий и т.п.

Что касается первой вышеобозначенной задачи, то в настоящее время в нашей республике разработана прогрессивная технологическая схема с применением компактной многоступенчатой установки [1]. В предлагаемой технологической схеме между базовыми процессами осаждения и фильтрования применяются вспомогательные процессы безреагентной флотации и коалесценции. Эти вспомогательные процессы хорошо изучены, не создают существенных эксплуатационных трудностей и существенно снимают нагрузку на фильтр, обеспечивая его наиболее эффективную работу. Внедрение и опыт эксплуатации опытного образца подтвердили работоспособность и эффективность новой разработки. Основные проблемы, требующие дальнейшего решения, связаны с эксплуатацией скорого зернистого фильтра установки, а именно: во-первых, недостаточная степень очистки в скором зернистом фильтре, что при необходимости сброса воды в

канализацию или открытые водоемы, требует включения в схему дополнительного сорбционного фильтра, и, во-вторых, сложность регенерации и обслуживания скорого зернистого фильтра. Таким образом, поиск альтернативных фильтрующих загрузок и совершенствование конструкции фильтра является актуальной научной и конструкторской задачей.

В современной интерпретации очистка воды фильтрованием рассматривается как физико-химический процесс, основанный на адгезии взвешенных веществ и коллоидных примесей, содержащихся в воде к поверхности фильтрующего материала или к ранее прилипшим загрязнениям. Согласно теории Д.М. Минца, очистка воды при фильтровании рассматривается как результат двух одновременно протекающих процессов: 1 - адгезии удаляемых из воды примесей к поверхности фильтрующего материала и раннее прилипшим загрязнениям; 2 - отрыва образующихся в поровом пространстве отложений под действием гидродинамических сил потока, которые, в свою очередь, могут быть задержаны прилегающими слоями. Таким образом, эффективность процесса фильтрования зависит от свойств фильтрующей загрузки и режима фильтрования. Также в значительной степени эффективность процесса фильтрования зависит от концентрации загрязнений в исходной воде. Чем больше концентрация, тем быстрее происходит закупорка порового пространства, что приводит к резкому приросту потерь напора в слое фильтрующей загрузки или выносу загрязнений в фильтрат.

Широкое распространение для очистки нефтесодержащих сточных вод получили скорые фильтры с зернистой загрузкой. Такие фильтры являются эффективными и наиболее простыми в эксплуатации. На рис.2а приведена схема открытого фильтра с однослойной зернистой загрузкой, при движении очищаемой воды под действием силы тяжести сверху вниз. Несмотря на распространенность таких фильтров, они обладают, по крайней мере, одним существенным недостатком, особенно проявляющимся при очистке нефтесодержащих сточных вод, – быстрой колюматацией верхних слоев, в результате чего на поверхности зернистой фильтрующей загрузки образуется пленка с малой проницаемостью, происходит быстрый рост потерь напора при фильтровании и сокращение продолжительности фильтроцикла. Устранить этот недостаток можно применением многослойной зернистой загрузки с фильтрованием в направлении убывающей крупности зерен. В этом случае сточная вода проходит сначала крупнозернистые слои, а в слои с более мелкой загрузкой поступает уже частично очищенной, что позволяет более полно использовать объем фильтрующей загрузки и увеличить продолжительность фильтроцикла. Фильтрова-

ние может осуществляться как снизу вверх через неоднородную по крупности загрузку с одинаковой плотностью, так и сверху вниз через загрузку из материалов с различной крупностью и плотностью. При этом материал с меньшей плотностью укладывается в верхний слой фильтра, что необходимо во избежание перемешивания слоев при обратной промывке фильтрующей загрузки. Однако использование в качестве верхнего слоя менее плотных и, соответственно, менее прочных, чем кварцевый песок материалов, препятствует применению наиболее эффективного способа водо-воздушной промывки, поскольку такие материалы подвержены значительному истиранию и

фильтрующего зернистого материала. При такой конструкции фильтра образование на поверхности фильтрующей зернистой загрузки пленки из осадка с малой проницаемостью происходит медленнее. Кроме этого улучшаются условия промывки, вследствие того, что мелкозернистые частицы под действием восходящего потока воды вращаются в порах каркаса, что усиливает абразивное воздействие на частицы фильтрующей загрузки за счет их активного взаимодействия между собой и с поверхностью частиц каркаса. Отмечается также, что каркасно-засыпной фильтр имеет недостаток, заключающийся в том, что рабочая площадь фильтра снижается из-за наличия крупного кускового материала.

Более прогрессивной является конструкция фильтра с отдельно расположенными слоями крупнокускового материала и мелкозернистого фильтрующего материала (рис.2в), [2]. В этом случае слой крупнокускового материала расположен между поддерживающими решетками только в верхней части зернистой фильтрующей загрузки. Такая конструкция фильтра совмещает в себе преимущества многослойного фильтра и каркасно-засыпного фильтра. При этом исключается недостаток, связанный с уменьшением рабочей площади фильтра, в случае размещения каркаса во всем объеме мелкозернистой загрузки. Также каркасом в верхней части фильтрующей загрузки может служить пакет наклоненных под углом 35-70° пластин [3]. Кроме этого, при очистке нефтесодержащих сточных вод верхний каркас может выполняться из материалов с коалесцирующими свойствами и активно

задерживать эмульгированные нефтепродукты.

В значительной степени эффективность процесса фильтрования зависит от выбора фильтрующей загрузки. Наилучшими показателями обладают материалы с более развитой удельной поверхностью и высокой пористостью, а также имеющие достаточную механическую прочность, химическую стойкость и т.д. Также для очистки нефтесодержащих сточных вод большое значение имеют гидрофобные свойства фильтрующих мате-

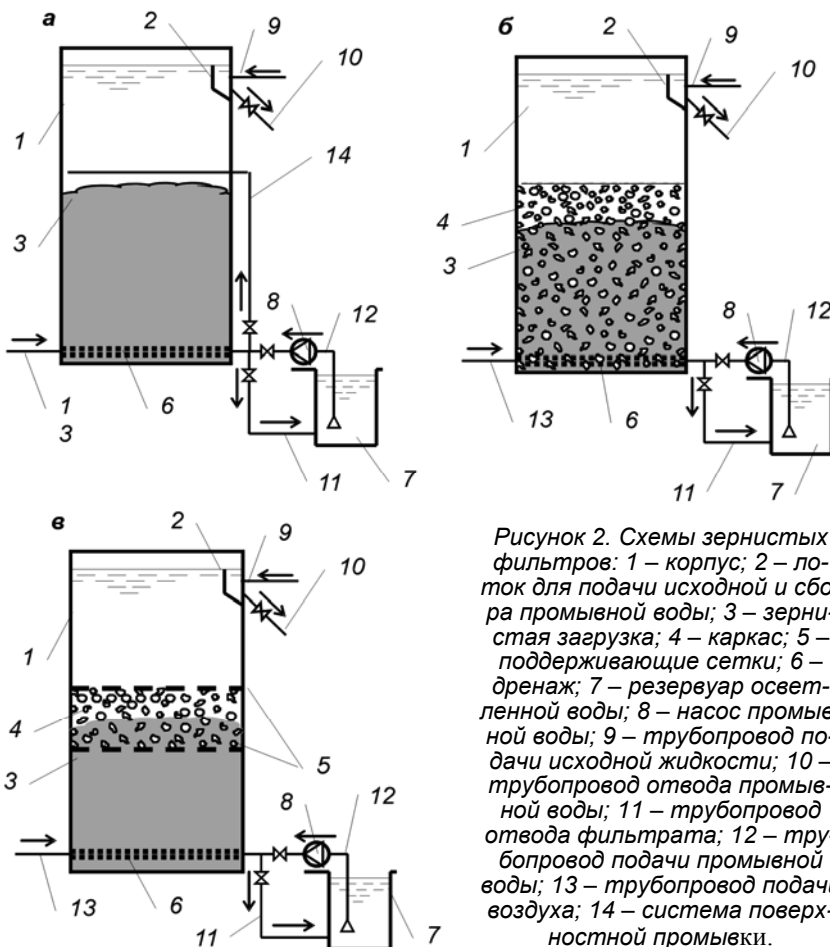


Рисунок 2. Схемы зернистых фильтров: 1 – корпус; 2 – лоток для подачи исходной и сбора промывной воды; 3 – зернистая загрузка; 4 – каркас; 5 – поддерживающие сетки; 6 – дренаж; 7 – резервуар осветленной воды; 8 – насос промывной воды; 9 – трубопровод подачи исходной жидкости; 10 – трубопровод отвода промывной воды; 11 – трубопровод отвода фильтрата; 12 – трубопровод подачи промывной воды; 13 – трубопровод подачи воздуха; 14 – система поверхностной промывки.

могут выноситься из фильтра в результате флотирующего действия воздушных пузырьков.

Для повышения эффективности работы зернистых загрузок при фильтровании нефтесодержащих сточных вод применяют каркасно-засыпные фильтры (рис.2б) [2]. В этом случае объем фильтра заполняется смесью из частиц крупного кускового материала, например, гравия с размером частиц 40-50 мм, образующим каркас, и мелкозернистого материала, заполняющего поры каркаса. При этом высота каркаса несколько больше высоты

риалов. К материалам, рекомендованным к применению в качестве загрузки фильтров для очистки нефтесодержащих сточных вод и обладающих сорбционно-адгезионными свойствами, относятся [4]: песок речной или карьерный, антрацит, керамзит, аглопорит, шунгит, естественные пористые материалы (вулканические шлаки и туфы), отходы производства (гранулированные металлургические шлаки, горелые породы), плавающие зернистые материалы (полистирол, полипропилен, пенополиуретан). В последнее время применение получают нетканые материалы на основе синтетических волокон. При выборе материала для загрузки фильтров следует также учитывать наличие того или иного материала в данном регионе и его стоимость.

Во времена Советского Союза довольно распространенным фильтрующим материалом был кварцевый песок. Однако впоследствии его применение значительно сократилось по ряду причин. Одна из них – отсутствие в республике месторождения песка приемлемого качества, как по гранулометрическому, так и минералогическому составу. Неудовлетворительное качество песка местных карьеров и экономическая нецелесообразность его доставки из отдаленных регионов послужили стимулом для поиска других материалов для загрузки скорых фильтров очистных сооружений. Кроме этого, другие зернистые материалы обладают более высокой технологической эффективностью [4, 5].

В последнее время широкое применение в качестве зернистых загрузок получил керамзит. Этот материал в больших объемах выпускается предприятиями стройиндустрии, а его стоимость, с учетом транспортировки, в несколько раз ниже, по сравнению с песком. Требуемые для загрузки скорых фильтров фракции керамзита могут быть получены либо отсевом из несортированного керамзитового песка марки 600-800, либо дроблением керамзитового гравия марки 400-650 с последующим отсевом требуемых фракций. Межзерновая пористость керамзитовой загрузки колеблется от 53 до 73%, что, примерно, в 1,4-1,9 раза выше пористости загрузки из кварцевого песка [4]. В качестве примера приведем нефтеемкости некоторых фильтрующих материалов размером 0,5-2 мм при температуре 20°C [6], кг/кг: кварцевый песок – 0,11; дробленый антрацит – 0,2; дробленый керамзит – 0,33; котельный шлак – 0,2-0,3; литейный кокс – 0,25. Как видно, наибольшей нефтеемкостью обладает керамзит и по сравнению с кварцевым песком отличается в три раза. Как результат, при фильтровании нефтесодержащих сточных вод в скорых фильтрах эффективность задержания загрязнений частицами керамзита в 2 раза выше, по сравнению с эффективностью задержания загрязнений частицами кварцевого песка [4]. Кроме того, керамзитовая загрузка лучше поддается регенерации восходя-

щим потоком воды, благодаря шероховатой поверхности зерен, что обеспечивает интенсивное абразивное воздействие частиц друг на друга.

Исследования подтвердили высокую эффективность применения в качестве фильтрующей загрузки керамзитового песка, крупностью зерен 1,2-2,1 мм [7]. При средней скорости фильтрования 10 м/ч, через слой загрузки 1 м продолжительность фильтроцикла составила 36 часов. Содержание нефтепродуктов сократилось с 20 до 5 мг/л, взвешенных веществ – с 40 до 5 мг/л. Основной недостаток керамзитовых загрузок – слабо выраженные сорбционные свойства, что практически не позволяет удалять из сточных вод растворенную фазу нефтепродуктов, концентрация которой может достигать 5 мг/л и более.

Достаточно широко в практике очистки промывных сточных вод применяются сорбционные материалы, в частности, гранулированные активные угли. Считается [5], что активные угли целесообразно применять на стадиях доочистки сточных вод, содержащих небольшие количества нефтепродуктов. Активированные угли являются дорогими и дефицитными материалами и экономически целесообразны только при условии их регенерации и повторного использования. В зависимости от состава сточных вод и марки сорбента, регенерация может осуществляться различными методами: термическим, термоокислительным, вытеснительным, отгонкой, экстракцией и комбинированными. Регенерация приводит к некоторому изменению характеристики угля и не позволяет полностью восстановить сорбционную способность материала. Другой путь повышения эффективности использования активированных углей для доочистки нефтесодержащих сточных вод – снижение концентрации загрязнений, поступающих на сорбционный фильтр, особенно в эмульгированном состоянии, что может быть достигнуто применением дополнительных ступеней промежуточной очистки.

Сорбционные методы позволяют также удалять из сточных вод поверхностно активные вещества (ПАВ), которые часто содержатся в сточных водах. В [8] рассматривается очистка различными сорбционными материалами и, в частности, активированными углями сточных вод с содержанием ПАВ. Сделаны выводы, что все ПАВ, используемые в быту и в промышленности, могут, практически, полностью извлекаться из сточных вод активированными углями. Однако при этом отмечается, что удельный расход активного угля на единицу массы адсорбированного ПАВ, значительно превышает удельный расход активного угля на адсорбцию единицы массы низкомолекулярных ограниченно растворимых соединений. Причиной этого является недоступность микропор для молекул или ионов ПАВ, а тем более для мицелл ПАВ. Поэтому для повышения эффективности

использования активированного угля предлагается использовать сочетание процессов флотации и адсорбции. Первая ступень очистки сточных вод – пенная сепарация позволяет снизить концентрацию ПАВ в воде до некоторой остаточной концентрации, за пределами которой пенная сепарация ПАВ невозможна. Дальнейшая доочистка воды производится активированным углем.

В общем, можно сделать вывод, что метод сорбционной очистки позволяет очищать сточные воды от нефтепродуктов в широких пределах начальных концентраций загрязнений до любого требуемого уровня. Однако главным преимуществом данного метода является высокая эффективность очистки сточных вод с малой концентрацией примесей. Основным фактором, сдерживающим широкое применение сорбционных методов, является высокая стоимость сорбентов и сложность их регенерации. Методы же регенерации довольно сложны или недостаточно эффективны. Кроме того, оборудование для регенерации имеет значительную стоимость. Поэтому данный метод может эффективно применяться только для доочистки сточных вод преимущественно от растворенной фазы нефтепродуктов. При этом содержание взвесей не должно превышать 10 мг/л.

Ведется поиск дешевых местных сорбционных материалов, что позволило бы значительно повысить технико-экономические показатели применения сорбционных фильтров и расширить их применение. Так, в Республике Беларусь это мог бы быть торф. Исследовано применение и разработана технология получения гранулированного торфа [9]. Отмечено, что применение этого сорбционного материала дает высокий эффект очистки (75-98%), при этом динамическая активность гранулированного торфа по отношению к нефтепродуктам составляет 0,2-0,5 кг/кг. Кроме этого, материал поддается регенерации, например, путем промывки фильтра горячей водой. Также отработанный материал можно использовать в качестве топлива.

В последнее время широкое применение для доочистки нефтесодержащих сточных вод получают эластичные сорбционно-адгезионные материалы на основе синтетических волокон или гранул. Эти материалы обладают хорошей сорбционной способностью и высокой пористостью, что обуславливает их высокую грязеемкость. Например, пористость гранулированного открытоячеистого эластичного пенополиуретана (ППУ) достигает 96-98 %.

Волокнистые синтетические материалы также обладают высокой грязеемкостью, однако практически не подлежат регенерации, особенно от взвешенных минеральных веществ, что приводит к необходимости частой трудоемкой замены дорогостоящей фильтрующей загрузки и ее утилизации. В [10] приняты исследования по интенсификации работы кассетного фильтра установки "Кристалл", поиску синтетических материалов, адекватных по своим тех-

нологическим свойствам сипрону и замене кассетного фильтра на обычный фильтр с синтетической загрузкой (капрона-щетины). Исследования процесса регенерации фильтрующих загрузок из сипрона и капрона-щетины показали, что эти материалы поддаются регенерации только в результате стирки в горячей воде с последующим отжимом.

Работа фильтра с эластичной синтетической волокнистой загрузкой исследовалась в работе [11]. Фильтрующая загрузка находилась между двумя перфорированными пластинами, одна из которых подвижная. В рабочем режиме фильтрующий материал сжимался. Регенерация фильтра производилась при расширении фильтрующей загрузки с обратной промывкой. Отмечается ряд преимуществ такого фильтра: высокая пористость (88-90%) и грязеемкость фильтрующего материала; большая скорость фильтрования; сжимаемость материала, и, как следствие, возможность варьировать пористость, качество фильтрата и потери напора при фильтровании; небольшое количество воды, необходимое для обратной промывки. К недостаткам такого фильтра можно отнести сложность конструкции.

Эффективность очистки нефтесодержащих сточных вод в многоступенчатых фильтрах с использованием различных фильтрующих материалов исследовалась в работе [12]. Исследования подтвердили достаточно высокую очищающую способность волокнистых загрузок. Схема полиэтилен-сипрон надежно обеспечивает остаточную концентрацию нефтепродуктов в очищенной воде не выше 15-20 мг/л при исходной концентрации до 2500 мг/л. Изменение свойств эмульгированных нефтепродуктов практически не оказывало влияния на конечные результаты. При этом отмечено, что волокнистые материалы целесообразно применять в процессах выделения из воды маловязких нефтепродуктов с минимальным содержанием механических примесей. Скорость фильтрования не должна превышать 5 м/час.

С учетом того, что регенерация волокнистых материалов весьма затруднительна, были проведены исследования по разработке фильтров с заменяемыми фильтрующими элементами [12]. За основу были приняты фильтры патронного типа. В качестве фильтрующих материалов применялись нетканые волокнистые материалы в виде ватина (нитрон, сипрон, стекловатин) и стеклоткань. Предварительные исследования показали, что тканые материалы (стеклоткань с различной технологией обработки) не обеспечивают высокой степени очистки ввиду значительной толщины нитей и больших размеров поровых каналов. Наиболее высокий эффект обеспечили волокнистые нетканые материалы, фильтрующей средой в которых являются элементарные волокна толщиной 6-8 мкм. Однако, несмотря на то, что на фильтр подавалась чистая водонефтяная эмульсия без механических примесей, потери напора в патронном

фильтре за 5-7 часов работы увеличились в несколько раз и изменялись от 2-3 до 7-9 м. вод. ст. При вскрытии фильтрующего элемента, на его поверхности, особенно со стороны входа эмульсии, обнаружился достаточно толстый слой вязких нефтепродуктов, который закупоривал поры фильтрующего элемента, что связывают с выделением на волокнах высоковязких фракций нефтепродуктов. А регенерация патронов без их извлечения из установки весьма затруднительна. Эти недостатки поставили под сомнение эффективность применения таких конструкций фильтров и возможность разработки на их основе простых и надежных в эксплуатации установок для очистки нефтесодержащих сточных вод.

Таким образом, можно сделать вывод, что, несмотря на хорошие сорбционно-адгезионные свойства и высокую гряземкость, волокнистые синтетические фильтрующие материалы обладают рядом существенных недостатков. Достаточно высокая стоимость, быстрая коагуляция пор при наличии в сточных водах вязких нефтепродуктов и твердых примесей, содержащихся в промливневых сточных водах, сложность регенерации или утилизации.

Перспективными являются фильтры с плавающей загрузкой. В качестве загрузки в таких фильтрах применяют вспененный полистирол и полипропилен в виде гранул. Эти материалы обладают достаточной механической прочностью, химической стойкостью, развитой удельной поверхностью и высокой пористостью. Обладая преимуществами волокнистых синтетических материалов, плавающие загрузки хорошо поддаются регенерации. Зерна этих фильтрующих загрузок легче воды, поэтому в рабочем положении загрузка удерживается при помощи решетки, установленной сверху. Фильтрация может осуществляться как снизу вверх, так и сверху вниз. Промывка производится нисходящим потоком воды с расширением загрузки. При этом направление потока промывной воды совпадает с направлением свободного падения тел, что приводит к более интенсивному удалению загрязнений и снижению расхода промывной воды.

Выводы

На основе проделанного обзора можно сделать вывод, что совершенствование существующих технологий очистки промливневых нефтесодержащих сточных вод может осуществляться в следующих направлениях:

– поиск и применение новых фильтрующих материалов или разработка специальных высокоэффективных композиций, обладающих невысокой стоимостью и экологической безопасностью, поддающихся регенерации и утилизации;

– создание усовершенствованных конструкций фильтров с высокой степенью автоматизации и механизации приемов эксплуатации, позволяющих оптимизировать процесс очистки сточных вод с учетом их состава и свойств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кравцов, А.М. Локальные сооружения очистки нефтесодержащих сточных вод малых стокообразующих объектов / А.М. Кравцов, В.И. Блоцкий, А.М. Ган // *Агропанорама*, № 6, 2005. – С. 22-26.
2. Кравцов, М.В. Гидромеханические процессы и сооружения гидроочистки. – Мн.: Ураджай, 1990. – 226 с.
3. Фильтр с зернистой загрузкой: пат. 2096066 RU, МКИ В 01 D 24/46 / О.Г. Гириков, Е.Ю. Николаев, О.С. Шмидт; заявитель Новосибирская гос. академия строительства. – №95114299/25; заявл. 09.08.1995; опубл. 20.11.1997 // *Бюллетень «Изобретения»*, №32, 1997. – С.167.
4. Аюкаев, Р.И. Производство и применение фильтрующих материалов для очистки воды / Р.И. Аюкаев, В.З. Мельцер. – Л.: Стройиздат, 1985. – 120 с.
5. Пушкарев, В.В. Очистка маслосодержащих сточных вод / В.В. Пушкарев, А.Г. Южанин, С.К. Мэн. – М.: Металлургия, 1980. – 199 с.
6. Стахов, Е.А. Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий хранения и транспорта нефтепродуктов / Е.А. Стахов. – Л.: Недра, 1983. – 263 с.
7. Овсейчик, М.Г. Отведение и очистка маслосодержащих сточных вод в больших городах: обзор / М.Г. Овсейчик, О.Я. Евсеева, Л.А. Евсеева // *Проблемы больших городов*. – М., 1988. – 28 с.
8. Адсорбция органических веществ из воды / А.М. Когановский, Н.А. Клименко, Т.М. Левченко, И.Г. Рода. – Л.: Химия, 1990. – 256 с.
9. Применение торфяных сорбентов для очистки сточных вод ливневой канализации / В.А. Довнар, А.Э. Томсон, Т.В. Соколова [и др.] // *Вода*, № 5, 2001. – С. 22-23.
10. Тотева, Б.Т. Очистка сточных вод автотранспортных предприятий: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.2004 / Б.Т. Тотева. – М., 1988. – 165 с.
11. Onder Caliskaner, George Tchobanoglous, Adrian Carolan. High-Rate Filtration with a Synthetic Compressible Media // *Water Environment Research*. – 1999. – Vol. 71, №6. – P. 1171-1177.
12. Исследование и разработка методов, схем и конструкций установок для очистки сточных вод нефтебаз: отчет о НИР (заключит.) / Новополюцкий политехн. ин-т; рук. темы Ю.П. Седлухо. – Новополюцк, 1984. – 81 с. – №ГР 0182. 3036580; инв. № 0285. 0031940.