

МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПО ОХРАНЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ РАЗЛИВЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Дегтярева О.Г. – аспирантка

Сафронова Т.И. – к. т. н., доцент

Дегтярев Г.В. – к. т. н., доцент

Кубанский государственный аграрный университет

В статье рассмотрены основные факторы негативного воздействия нефти и ее продуктов на окружающую среду. Дается теоретическое обоснование и методика расчета устройств по сбору нефтепродуктов с поверхности воды.

В последние десятилетия обострились вопросы, связанные с влиянием нефтяного производства на экологическую ситуацию. Особую опасность представляет разлив нефтепродуктов. Покрывая тончайшей пленкой огромные участки водной поверхности, нефть нарушает кислородный, углекислый и другие виды газового обмена в поверхностных слоях воды и пагубно воздействует на водную фауну и флору. К наиболее токсичным и быстродействующим относятся ароматические углеводороды. Даже при малых концентрациях они оказывают отравляющее действие на низшие формы жизни в водоемах и водотоках.

Опасность отравления нефтью возрастает с увеличением ее концентрации. Токсичность в водной среде проявляется при концентрации более 1 мг/м^3 .

Взаимодействие нефти и воды характеризуется слоистыми физико-химическими процессами, протекающими с различной интенсивностью на разных стадиях формирования нефтяного загрязнения. Основные из них –

растекание, испарение, диспергирование, эмульгирование, окисление, седиментация – протекают следующим образом. Испарение легких фракций приводит к уменьшению объема нефти в пленке, снижает воспламеняемость и токсичность, но увеличивает вязкость и плотность остатка. Диспергирование – образование мелких капель нефти вследствие механического перемешивания пленки волнами. Эмульгирование – образование смеси воды и нефти, отличающейся при определенных соотношениях высокой вязкостью и устойчивостью к распаду. Седиментация происходит вследствие увеличения плотности нефти при ее испарении, а также в результате адсорбирования нефти минеральными частицами, содержащимися в воде.

При попадании на поверхность воды нефть растекается тонким слоем от нескольких сантиметров до мономолекулярной пленки. Поэтому одна тонна нефтепродуктов, разлитая на поверхности воды, способна сделать непригодной для жизни несколько квадратных километров водного пространства.

Зная о возможных состояниях системы – вода плюс нефть и ее продукты, можно рассматривать методы их разделения.

При эмульсионном состоянии выделение нефти и ее продуктов из воды наиболее доступно тремя методами:

- метод сепарации в поле больших центробежных сил;
- метод фильтрования, как на напорных, так и на безнапорных фильтрах;
- метод гравитационной стратификации, который в свою очередь может быть усилен различными действиями.

Реализуется метод сепарации на центрифугах, которые характеризуются возможностью обработки лишь небольших объемов воды и большими энергозатратами, что не позволяет его использовать при очистке дождевых вод.

Второй метод естественно должен быть реализован на каких-либо фильтрах. В настоящее время их очень много. Они классифицируются:

- по виду материалов, из которых они изготавливаются;
- по виду компоновки;
- по способу промывки и регенерации и другие.

Однако если рассмотреть их по принципу действия, то видно, что любой фильтрующий материал будет задерживать частицы соизмеримые с диаметром ячеек на самом фильтре. Если речь идет о задержании нефти и ее продуктов на фильтрах, то необходимо рассматривать частицы в пределах нескольких десятков микрометров. В конечном итоге мы рассматриваем систему для очистки поверхностного стока, где кроме нефтепродуктов имеются грубодиспергированные примеси, фракционный состав которых измеряется миллиметрами, и которые наряду с нефтепродуктами забьют поры фильтра и выведут его из работы. В результате требуется либо его частая смена, либо дополнения технологии.

Таким образом, становится очевидным, что ни центробежная сепарация в поле больших центробежных сил, ни фильтрационные методы выделения нефти и ее продуктов из воды неприемлемы в технологии многоступенчатой очистки вод поверхностного стока.

Еще один момент необходимо оговорить в связи с рассмотрением методов удаления нефти и ее продуктов, находящихся в эмульсионном состоянии, из воды, а именно то, что при правильной компоновке сооружений, входящих в систему водоводов, можно добиться такой ситуации, когда нефтепродукты эмульгировать не будут.

Ведь в принципе эмульсионное и дисперсионное состояния системы неустойчивы, снижение числа Рейнольдса при транспорте жидкости, а также увеличение времени нахождения эмульсии либо в состоянии покоя, либо близком к нему, безусловно, приведет к стратификации потока и к возможности применения уже других методов.

И тогда становится очевидным, что для разделения двухфазной жидкости типа нефть или ее продукты плюс вода, находящейся в поверхностной воде в эмульсионном или дисперсионном состоянии, наиболее приемлем третий метод – метод гравитационной стратификации потока.

Реализация метода гравитационной стратификации потока не требует каких-либо специальных устройств или сооружений. Необходимо лишь, зная расходы жидкости, запроектировать такие водоводы и емкости, где в первом случае не должно происходить эмульгирования, а во втором должно произойти окончательное расслоение жидкости. Другой вопрос – задача ускорения разделения, интенсификации процесса, чего можно добиться, однако уже с привлечением дополнительных технологий и технических средств.

Второе состояние системы нефть и ее продукты плюс вода, которое подлежит рассмотрению, – это состояние стратифицированной жидкости. Ведь добившись стратификации жидкости в одном случае или имея это состояние как исходное (например, в отстойниках) в другом случае, мы должны реализовать следующую операцию: наиболее эффективным способом собрать нефть или ее продукты с поверхности воды. При этом необходимо учитывать, что поверхность, с которой предстоит собирать продукт, может быть отстойником, находящимся в помещении. Например, при реализации технологии очистки воды на автомобильной мойке, либо открытая акватория моря при аварийных разливах с танкеров. К тому же в этих случаях объемы нефти и ее продуктов, подлежащие сбору с поверхности воды, не сопоставимы.

Уже при стратифицированной жидкости собрать нефть или ее продукты с поверхности воды можно, и это в большинстве случаев осуществляется следующими методами:

- фильтрованием;
- адсорбцией;

- механическим сбором;
- с использованием сил вязкости нефти и ее продуктов;
- сепарацией в поле слабых центробежных сил.

Рассмотрим более подробно каждый из этих методов с позиции его применения при очистке дождевых и ливневых вод.

Фильтрационный метод удаления нефтепродуктов из воды – это универсальный метод, он применим при нахождении нефтепродуктов в воде в любом состоянии, однако основным его недостатком является практическая невозможность регенерации фильтров, а делать это необходимо часто, особенно при обработке многофазных жидкостей с диспергированными включениями. При этом на безнапорных фильтрах можно обработать лишь ограниченный объем жидкости. На напорных – больший, но это требует дополнительных энергетических затрат. Есть еще один существенный недостаток, который выпадает из поля зрения разработчиков, предлагающих этот метод борьбы с нефтепродуктами. Рассматривая данную технологию очистки по операциям, можно видеть, что метод не дает разделения в конечном результате, а лишь отдалает его в одном технологическом цикле, перекладывая завершение операции на другие технологические циклы. При реализации конкретных задач очистки воды это, конечно же, приемлемо и получило должное применение, однако данное положение необходимо иметь в виду и использовать методы, лишенные этого недостатка.

Таким образом, фильтрационный метод удаления нефтепродуктов из воды может быть применен и при очистке вод поверхностного стока, однако в силу рассмотренных основных недостатков его применение ограничено.

Адсорбционный метод осуществляется реагентами, которых в настоящее время предлагается очень много, от графитового порошка до различного вида тканей. Сущность метода заключается в связывании

нефтепродуктов, находящихся на поверхности воды с адсорбирующим материалом, и последующим удалением этого агломерата.

Одно из технических решений, основанное на данном методе, представлено в патенте РФ №2006549 [1]. В устройстве с целью повышения эффективности работы бесконечная лента выполнена из нефтестойкого материала и снабжена впитывающим нефть или ее продукты материалом, размещенным на ней с образованием направленных наружных поперечных складок в соответствии с рисунком 1.

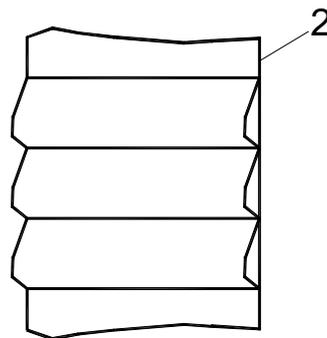
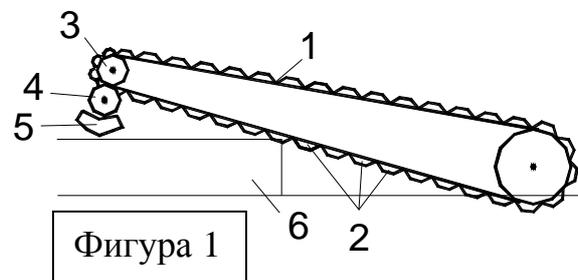


Рисунок 1 – Устройство для сбора нефти с поверхности воды

Фигура 1 – устройство для очистки воды, вид сбоку; фигура 2 – складки нефтепитывающего материала; 1 – бесконечная лента из нефтестойкого

материала с поперечными складками; 2 – бесконечная лента из нефтесовместимого материала; 3 – ведущий и ведомый барабаны; 4 – отжимной валок; 5 – лоток; 6 – плавсредство.

Устройство для сбора нефти и ее продуктов с поверхности воды содержит транспортерную ленту 1, выполненную из нефтестойкого материала, к наружной поверхности которой прикреплены складки 2 из нефтесовместимого материала. Лента 1 натянута на валках 3, один из которых ведущий, другой натяжной. Валок 4 отжимной, под ним располагается лоток 5. Вся конструкция размещена на плавсредстве 6, служащем емкостью для сбора отжатых нефтепродуктов.

Однако данное и ему подобные устройства, использующие адсорбционный метод борьбы с нефтепродуктами на поверхности воды, обладают целым рядом недостатков, таких, как материалоемкость, аппаратная избыточность и другие. Также эти устройства низкоэффективны вследствие невозможности полного отжима нефтепродуктов с нефтесовместимого материала из-за большой вязкости нефтепродуктов, а также большого количества воды, поступающей в нефтесовместимый лоток.

Адсорбционные методы, в основе которых заложено погружение агломерата на дно водоема, вообще экологически неприемлемое решение.

Таким образом, адсорбционный метод в силу рассмотренных недостатков не может найти должного применения при удалении нефтепродуктов с поверхности воды, и нами в дальнейшем рассматриваться не будет.

Механический способ сбора нефти и нефтепродуктов с поверхности воды тесно связан со способом, использующим в основе своей работоспособности вязкость нефтепродуктов. Мы разделяем эти два метода исключительно с целью более углубленного понимания физики

происходящего явления сбора нефтепродуктов. И лишь акцентируя внимание на основных силах, участвующих в реализации задачи, можно четко разделить эти два метода.

Вместе с тем механический способ нашел очень широкое применение на производстве в силу простоты реализации и значительной эффективности. Одними из типичных представителей, реализующих данный метод, являются горизонтальные нефтеловушки. Они, по сути, представляют отстойник, разделенный продольными стенками на параллельные секции [2]. Сточная вода из отдельно расположенной распределительной камеры по самостоятельным трубопроводам поступает через щелевую перегородку в каждую секцию нефтеловушки в соответствии с рисунком 2.

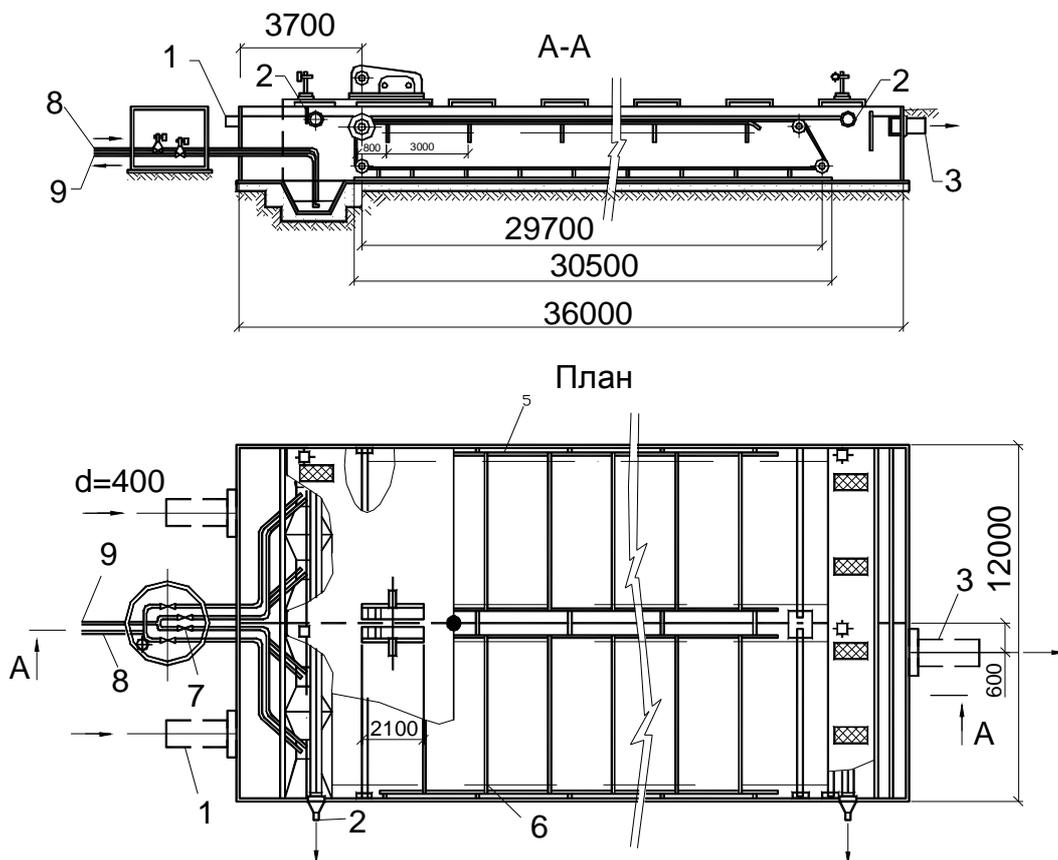


Рисунок 2 – Нефтеловушка пропускной способностью 396 м³/ч

1 – трубопровод для подачи сточных вод на очистку; 2 – нефтесборная труба; 3 – трубопровод для отвода осветленных сточных вод; 4 – гидроэлеватор; 5 – скребковый транспортер левый; 6 – скребковый транспортер правый; 7 – задвижки с электроприводом во взрывобезопасном исполнении; 8 – трубопровод для подачи воды к гидроэлеватору; 9 – трубопровод для отвода осадка.

Освобожденная от нефти вода в конце секции проходит под затопленной нефтеудерживающей стенкой и через водослив переливается в отводящий лоток и далее в трубопровод. Для снижения вязкости нефти и ее продуктов в зимнее время предусматривается обогрев поверхности жидкости змеевиком.

Всплывшая нефть по мере ее накопления сгоняется скребковым транспортером к щелевым поворотным трубам и выводится по ним из нефтеловушки. Осадок, выпадающий на дно, тем же транспортером перемещается к приямку, откуда его периодически по илопроводу удаляют через донные клапана или с помощью гидроэлеваторов.

Анализируя работу нефтеловушек подобного типа, можно отметить, что по принципу действия все они относятся к отстойникам со всеми присущими данным конструкциям недостатками. А именно большими габаритами (с рекомендуемыми размерами по длине от 18 до 36 метров, по ширине от 2 до 6 метров, при глубине до 3,6 метра); недостаточной эффективностью; материало- и энергоемкостью.

Именно данные недостатки нефтеловушек подобного типа не позволяют найти им широкого применения на производстве. В свою очередь в настоящее время имеются уже апробированные производством технические средства, лишенные этих недостатков.

Существует еще одно устройство для сбора нефти и ее продуктов с поверхности воды, использующее механический принцип [3]. Устройство включает в себя плавучую раму с фильтром в донной части, нефтеприемник, сообщающийся с плавучей рамой, и приспособление для удаления нефти. С целью упрощения конструкции при повышении эффективности нефтеприемник установлен в проеме плавучей рамы со стороны сбора нефти и выполнен в виде многолопастного колеса, снабженного независимым приводом, закрытого по торцам дисками и размещенного так, что его ось параллельна водной поверхности и перпендикулярна к направлению транспортирования нефти. При этом многолопастное колесо облицовано гидрофобным материалом, как показано на рисунке 3.

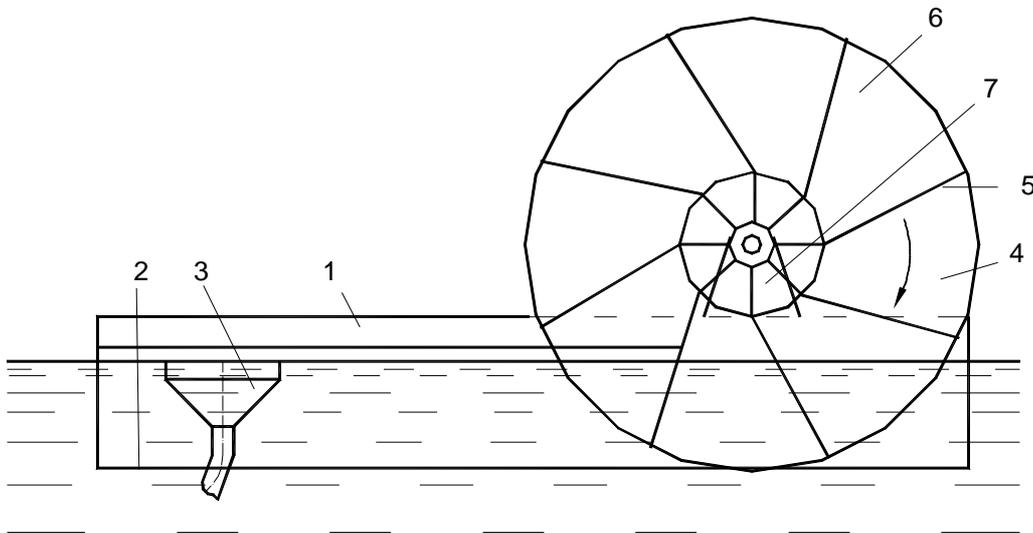


Рисунок 3 – Плавучее устройство для сбора нефти и других веществ с поверхности воды

1 – плавучая рама; 2 – фильтр; 3 – всасывающее приспособление;
4 – многолопастное колесо; 5 – лопасти; 6 – диски; 7 – привод вращения.

Устройство включает плавучую раму 1 с фильтром 2 в донной части и всасывающим приспособлением 3 для удаления нефти из нее. Стенки плавучей рамы 1 погружены в воду, а в одной из них со стороны сбора нефти выполнен проем с вмонтированным в него многолопастным колесом 4 так, что ось его параллельна водной поверхности и перпендикулярна к направлению транспортирования нефти, а лопасти 5 погружены в воду для обеспечения сбора и накопления нефти. Лопастное колесо 4 по торцам закрыто дисками 6 и снабжено приводом 7 вращения.

Сбор нефти с поверхности водоема может производиться как при стационарном положении устройства, так и при движении его по водной поверхности. При этом погруженное в воду вращающееся многолопастное колесо 4, закрытое с торцов дисками 6, захватывает водную поверхность частями, равными площади, ограниченной двумя соседними лопастями 5 и дисками 6, и без интенсивного перемешивания вместе с пленкой нефти транспортирует воду через проем внутрь плавучей рамы 1. Тонкий слой нефти внутри рамы 1 в процессе сбора аккумулируется в толстый.

Вытеканию нефти препятствует погруженное в воду колесо 4, которое лопастями 5 перекрывает проем в стенке рамы 1. Выносу нефти лопастями 5 препятствует облицовка их гидрофобным материалом. Накопленную в плавучей раме 1 нефть отсасывает приспособление 3. Собранная таким образом нефть содержит небольшой процент воды.

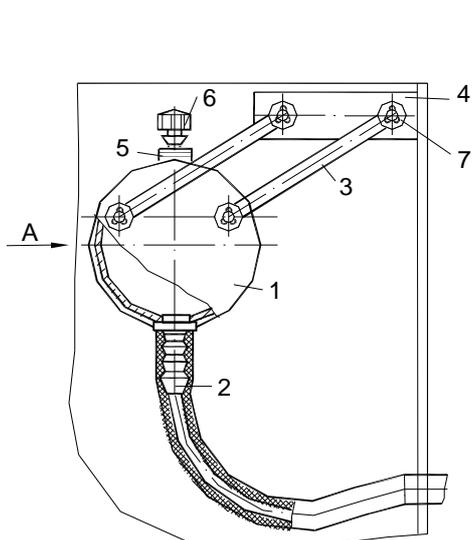
Недостатком данного устройства для сбора нефти с поверхности воды и ему подобных является то, что возможность увеличивать скорость вращения многолопастного колеса весьма ограничена. Нефтяной слой с поверхности воды должен подаваться в плавучую раму в режиме ламинарном или близком к нему, чему будет способствовать увеличение скорости вращения колеса, в противном случае значительно турбулентизированный поток будет лишь способствовать распространению

нефти по поверхности воды. Также в устройстве очень сложно и неэффективно в работе нефтеприемное приспособление 3.

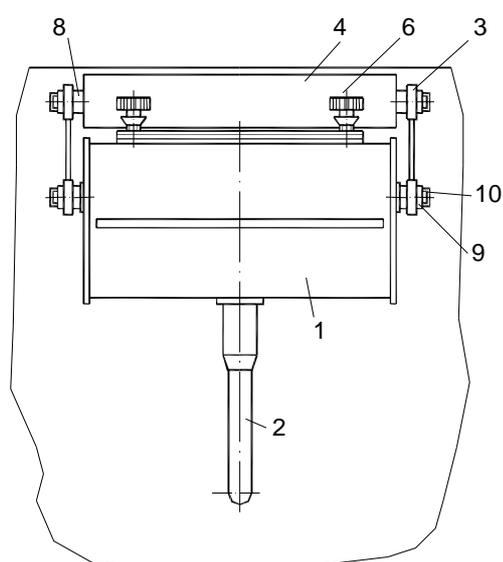
Таким образом, из представленного и рассмотренного материала становится ясно, что механический метод сбора нефтепродуктов с поверхности воды хотя и находит применение на производстве, но в силу присущих этому методу недостатков, не может быть рекомендован для системы очистки поверхностных вод.

Следующий метод сбора нефти и ее продуктов с поверхности воды – это сравнительно новый метод, разработанный в связи с все возрастающими требованиями к качеству очистки воды, и основан он на использовании сил поверхностного натяжения нефти и ее продуктов.

Одним из первых устройств, использующих данный метод, можно считать устройство для забора поверхностного слоя жидкости, описанное в А.С. №1388387 [4]. Устройство содержит маслосборный цилиндр 1 (рис. 4) со щелью, размещенной в нижней его части, сливной системой 2; направляющее устройство, выполненное в виде двух пар параллельных тяг 3 пантографического типа, шарнирно подвешенных к металлоконструкции 4 и цилиндру 1.



Фигура 1



Фигура 2

Рисунок 4 – Устройство для забора поверхностного слоя жидкости

Фигура 1 – общий вид; фигура 2 – вид А на фигуре 1; 1 – маслосборный щелевой цилиндр; 2 – сливная система; 3 – тяги; 4 – металлоконструкции; 5 – набор пластин; 6 – ручки; 7 – шарниры; 8 – оси; 9 – шайба; 10 – шплинт.

Для управления положением щели цилиндра 1 относительно уровня очищаемой жидкости предназначено регулировочное устройство, включающее набор пластин 5, фиксируемых ручками 6.

Шарниры 7 крепления тяг 3 к цилиндру 1 и металлоконструкции 4 представляют собой оси 8, на которые установлены подшипники и тяги 3 с возможностью поворота тяг 3 относительно осей 8. От осевого смещения тяги 3 зафиксированы шайбой 9 со шплинтом 10.

Устройство для забора поверхностного слоя жидкости работает следующим образом: набором пластин 5 регулируют глубину погружения нефтесборного цилиндра 1 таким образом, чтобы приемная щель находилась напротив верхнего слоя жидкости, как раз той, которая подлежит удалению. Нефть и ее продукты, собираясь через щель в цилиндр 1, вытекают через сливную систему 2. При изменении уровня очищаемой жидкости цилиндр 1, шарнирно подвешенный тягами 3 к металлоконструкции 4, опускается или поднимается, в автоматическом режиме отслеживая заданный уровень тягами 3 **ВСЛЕД** за уровнем жидкости, непрерывно производя ее очистку.

Шарнирное подвешивание нефтесборного щелевого цилиндра к направляющему устройству, выполненному в виде двух пар тяг пантографического типа, установленных на торцах цилиндра, позволяет производить непрерывный съем масляного или нефтяного слоя при любом уровне жидкости, обеспечивая тем самым качество очистки жидкости.

Расположение шарниров, на которых подвешен маслонефтесборный щелевой цилиндр, выше уровня жидкости предохраняет шарниры от загрязнения и обеспечивает надежность работы устройства.

Регулировка расположения щели цилиндра относительно поверхностного слоя жидкости, подлежащей удалению, осуществляется набором пластин один раз. В дальнейшем при изменении уровня жидкости дополнительной регулировки не требуется, что обеспечивает непрерывность работы и улучшает качество очистки. Если регулировку осуществить таким образом, чтобы попавшая в щель цилиндра 1 нефть или ее продукты за счет вязкости затягивали следующие продукты, то получится, что устройство работает за счет сил поверхностного натяжения нефтепродуктов. Вместе с тем весьма "узким местом" устройства является сливная система 2, которая никаким образом не реагирует на возможное поступление в нее вместе с нефтепродуктами части воды. Эта вода системой не обрабатывается, а транспортируется дальше как нефтепродукт.

Задача удаления нефтяной пленки с поверхности воды наиболее рационально может быть реализована посредством нефтеловушек. Нами предлагается ряд механических нефтеловушек [5], [6], работающих на принципе стягивания с поверхности воды образующейся пленки нефтепродуктов от радужной до нескольких сантиметров, причем величина отбираемого слоя может регулироваться, а сам собранный продукт дополнительно обезвоживается и может подаваться в трубопроводы, уже исключая дополнительную технологическую операцию.

Одна из подобных нефтеловушек, представленная на рисунке 5, роторная [6], включает цилиндрический нефтепродуктосборный барабан 1 с приводом, обеспечивающим направление вращения барабана, указанное

на рисунке, и с эластичными лопастями 2. Корпус 3, выполненный в виде рамы с заданной плавучестью и образующий с вышеуказанным барабаном 1 нефтепроводной канал 4, длина которого может изменяться за счет телескопической вставки 5,двигающейся по направляющим. Кювета 6, замкнутая по периметру, без дна, образована плоскими стенками рамы. В кювете 6 может находиться датчик уровня раздела сред нефть – вода 7, всасывающий патрубок 8 насоса 9 и источник колебаний 10, например, высокочастотный генератор. Вся система может быть навесной, как на судне, так и над нефтесборной емкостью, или плавающей, посредством понтонов 11, обрамляющих корпус 3, причем во всех случаях системе задается погружение и центровка таким образом, чтобы барабан 1 был погружен в жидкость приблизительно на всю высоту эластичных лопастей 2.

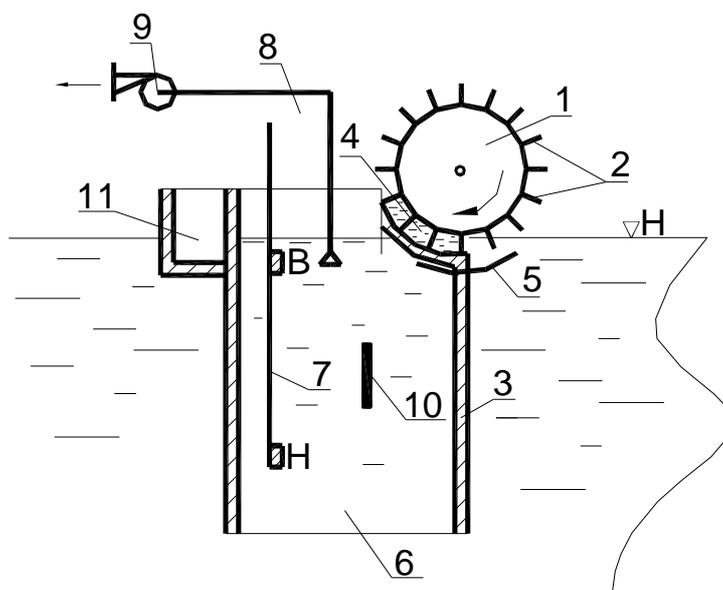


Рисунок 5 – Принципиальная схема роторной нефтеловушки

Для осуществления сбора нефти и ее продуктов с поверхности воды роторной нефтеловушке не надо устраивать специального отстойника со сложными системами распределения и отвода жидкостей. Она может быть

установлена в любом звене технологического процесса, где происходит расслоение жидкостей, и где нефтепродукты всплывают на поверхность. При вращении барабана 1 с лопастями 2 нефтепродукты с поверхности воды, переливаясь через водослив, будут дискретно захватываться лопастями 2 и продвигаться по нефтепроводному каналу 4 в кювету 6, образованную корпусом 3. Если толщина слоя нефтепродуктов на поверхности воды равна или больше высоты эластичной лопасти 2, то телескопическая вставка 5 задвинута в корпус по направляющим, и устройство работает с максимальной производительностью, которая может регулироваться скоростью вращения барабана и не зависит от свойств нефтепродуктов. Если же толщина слоя нефти или ее продуктов незначительна, то выдвигается телескопическая вставка 5 на такую величину, чтобы глубина жидкости над порогом, образованным крайней кромкой выдвигаемой вставки, была бы соизмерима с толщиной разлитого нефтепродукта. Нефтепродукты будут переливаться через кромку водослива (без воды или при ее минимуме) в нефтепроводной канал 4 и далее дискретно лопастями подаваться в кювету 6. Поступившие в кювету 6 вместе с водой нефтепродукты обезвоживаются посредством действия высокочастотного генератора 10, расположенного в кювете, вытесняют воду из кюветы и заполняют ее до нижнего уровня, отслеживаемого датчиком 7. Когда включается насос 9, через всасывающий патрубок 8 происходит откачивание обезвоженного нефтепродукта до верхнего уровня. В это же время в кювету вода поступает снизу, при этом в рабочем или в нерабочем состоянии устройства нефтепродукты, собранные в кювету, отсечены от водной акватории и не могут растекаться.

С целью теоретического обоснования работы роторной нефтеловушки рассмотрим движение нефти в регулируемом нефтепроводном канале 4 в цилиндрических координатах r , q , z .

Движение происходит по окружностям с центром на оси Oz (ось барабана) так, что

$$J_z = J_r = 0; \quad J_q = J(r); \quad p = p(r).$$

Запишем уравнения движения вязкой жидкости в цилиндрических координатах:

$$\begin{cases} \frac{1}{r} \frac{dp}{dr} = \frac{J^2}{r} \\ \frac{d^2 J}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dJ}{dr} - \frac{J}{r^2} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Уравнение для скорости J – уравнение Эйлера. Будем искать его частные решения в виде $J = r^k$. Подстановка этого выражения для J во второе уравнение системы (1) дает:

$$k \cdot (k - 1) + k - 1 = 0.$$

Получаем следующие значения k :

$$k_1 = 1; \quad k_2 = -1,$$

и следующие частные решения:

$$J_1 = r; \quad J_2 = \frac{1}{r}.$$

Запишем общее решение для скорости J :

$$J = c_1 r + \frac{c_2}{r} \quad (2).$$

Произвольные постоянные c_1 и c_2 определяем по граничным условиям:

$$J = 0 \quad \text{при} \quad r = r_1,$$

$$J = w \cdot r_2 \quad \text{при} \quad r = r_2.$$

r_2 – радиус барабана;

w – угловая скорость барабана;

$$r_1 = r_2 + h;$$

h – регулируемый зазор.

Подставив найденные значения c_1 и c_2 в (2), получим окончательное выражение для скорости J :

$$J = \frac{w \cdot r_2^2 (r^2 - r_1)^2}{r(r_2^2 - r_1^2)}.$$

Для определения силы трения, действующей на элемент барабана, используем формулу для соответствующей составляющей тензора напряжений в цилиндрических координатах:

$$p_{rq} = m \left(\frac{1}{r} \frac{\partial J_r}{\partial q} + \frac{\partial J_q}{\partial r} - \frac{J_q}{r} \right), \text{ где}$$

m – коэффициент внутреннего трения (коэффициент вязкости).

Для рассматриваемого движения

$$p_{rq} = m \left(\frac{\partial J}{\partial r} - \frac{J}{r} \right) = - \frac{2 \cdot m \cdot w \cdot r_1^2 \cdot r_2^2}{r^2 (r_2^2 - r_1^2)} \quad (3).$$

Рассмотрим часть барабана с высотой в направлении оси Oz равной единице. На элемент $r_2 dq$ этой частицы поверхности действует в направлении, касательном к цилиндру, сила $p_{rq} r_2 dq$, момент которой относительно оси цилиндра равен $p_{rq} r_2^2 dq$.

Выполнив интегрирование, получим полный момент M сил трения, действующих на барабан:

$$M = - \frac{2 \cdot m \cdot w \cdot r_1^2 \cdot r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot j .$$

Полученный полный момент сил трения, действующих на барабан, позволяет обоснованно назначать энергетическое оборудование для эффективной работы роторных нефтеловушек, являющихся в настоящее время наиболее рациональным техническим решением по сбору нефти и ее продуктов с поверхности воды.

Список литературы

1. Патент РФ 2006549. Устройство для сбора нефти с поверхности воды / Иванов В.Г. Оpubл. в Б. И. – 1994. – №2.

2. Веселов Ю.С. Водоочистное оборудование. Конструирование и использование. – Л.: Машиностроение, 1985. – 232 с.
3. А.С. 977566. (СССР). Плавающее устройство для сбора нефти и других веществ с поверхности воды / М.В. Подружин. Оpubл. в Б. И. – 1982. – №44.
4. А.С. 138387 (СССР). Устройство для забора поверхностного слоя жидкости / Протасенко А.С., Колесник А.П., Полищук Г.Д. Оpubл. в Б. И. – 1988. – №14.
5. Патент РФ 2190723 Устройство для сбора нефтепродуктов с поверхности воды / Дегтярев Г.В., Дегтярева О.Г. Оpubл. в Б. И. – 2002. – №28.
6. Патент РФ 2190724 Устройство для сбора нефтепродуктов с поверхности воды / Дегтярева О.Г., Гетман В.Н., Дегтярев Г.В. Оpubл. в Б. И. – 2002. – №28.