

## **МЕТОДЫ И СРЕДСТВА СБОРА НЕФТИ И ЕЕ ПРОДУКТОВ В ВОДАХ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА И ПРИ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВАХ**

Дегтярев Г. В. – к. т. н., доцент

Свистунов Ю. А. – д. т. н., профессор

*Кубанский государственный аграрный университет*

В статье рассмотрены методы и технические средства сбора нефтепродуктов с поверхности воды. На основе анализа, в том числе и теоретического, с учетом зарубежного опыта обоснован приоритет метода сбора нефти с поверхности небольших акваторий за счет сил поверхностного натяжения, а при аварийных разливах – приоритет метода центробежной сепарации в поле слабых сил.

Нефть и ее продукты в водах поверхностного стока могут находиться в двух состояниях. Первое состояние – эмульсионное, когда двухфазная жидкость представляет собой неоднородную систему, которая состоит из капель воды, распределенных между молекулами нефти или ее продуктов. Размер частиц в эмульсиях составляет  $10^{-7} - 10^{-5}$  м. Второе состояние – стратифицированная жидкость, независимо от толщины нефти или ее продуктов на поверхности воды.

При эмульсионном состоянии нефти и ее продуктов в воде их выделение наиболее доступно следующими методами:

- сепарация в поле больших центробежных сил. Метод реализуется на центрифугах и характеризуется возможностью обработки лишь небольших объемов воды и высокими энергозатратами, что не

позволяет использовать его при очистке вод поверхностного стока;

- фильтрацию, как на напорных, так и на безнапорных фильтрах. Фильтры классифицируются по материалам, из которых они изготавливаются, по компоновке, по способу промывки и регенерации и т. д. Любой фильтрующий материал задерживает частицы, соизмеримые с диаметром ячеек на самом фильтре. Когда речь идет о задержании нефти и ее продуктов на фильтрах, необходимо рассматривать частицы в пределах нескольких десятков микрон. Рассматривая систему очистки вод поверхностного стока, где наряду с нефтепродуктами имеются грубодиспергированные примеси, размеры которых измеряются миллиметрами и требования к фильтрующим элементам ужесточаются, условия работы фильтров усложняются. Становится очевидным, что фильтрационный метод выделения нефти и ее продуктов из воды неприемлем для очистки вод поверхностного стока;

- метод гравитационной стратификации. Реализация метода гравитационной стратификации потока может быть осуществлена без специальных сооружений. Зная расходы жидкости, необходимо задать скорости потока, исключающие эмульгирование и обеспечивающие окончательное расслоение жидкости.

Второе состояние системы "нефть или ее продукты плюс вода", которое подлежит рассмотрению, – это состояние стратифицированной жидкости. Ведь добившись стратификации жидкости в одном случае или имея это состояние как исходное в другом случае, мы должны собрать нефть или ее продукты с поверхности воды.

При стратифицированной жидкости собрать нефть или ее продукты с поверхности воды можно фильтрацией, адсорбцией, механическим сбором с использованием сил вязкости нефти и ее продуктов, а также сепарацией в поле слабых центробежных сил.

Рассмотрим более подробно каждый из этих методов с позиции его применения при очистке вод поверхностного стока.

Фильтрационный метод удаления нефтепродуктов из воды – это универсальный метод. Он применим при нахождении нефтепродуктов в воде в любом состоянии. 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 ограниченные объемы жидкости. На напорных – большие, но это требует дополнительных энергетических затрат. Еще один существенный недостаток состоит в том, что данный метод не дает в конечном результате разделения в одном технологическом цикле, перекладывая завершение операции на другие. При реализации конкретных задач очистки воды это приемлемо и получило должное применение. Таким образом, фильтрационный метод удаления нефтепродуктов из воды может быть применен при очистке вод поверхностного стока, но в силу рассмотренных основных недостатков применение его ограничено.

Адсорбционный метод осуществляется реагентами или адсорбирующими материалами, которых в настоящее время предлагается очень много, от графитового порошка до различного вида тканей. Сущность метода заключается в связывании нефтепродуктов с адсорбирующим материалом и последующем удалении или этого агломерата, или выделенной из него различными действиями нефти [1; 2].

Устройства, использующие адсорбционный метод сбора нефтепродуктов на поверхности воды, обладают целым рядом недостатков: материалоемкостью, аппаратной избыточностью, невозможностью осуществления операции разделения в один технологический цикл и т.д.

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

Механический способ сбора нефти и нефтепродуктов с поверхности воды тесно связан со способом, использующим в основе вязкость нефтепродуктов, и находит широкое применение благодаря простоте реализации [3; 4]. Однако в силу присущих этому методу недостатков, таких как конструктивная избыточность и неэффективность, он не может быть рекомендован для систем очистки вод поверхностного стока.

Метод сбора нефти и ее продуктов с поверхности воды [5; 6] основан на использовании сил поверхностного натяжения собираемого продукта. Устройства, реализующие этот метод, являются весьма перспективными, экологически чистыми, разделяющими жидкости однозначно и качественно. Он может найти применение не только при очистке дождевых и ливневых вод от нефтепродуктов, но и при очистке вод в различных технологиях.

Недостатком этих устройств является низкая эффективность работы, они предназначены для отработки лишь молекулярной пленки, а если слой нефтепродуктов будет несколько большим, то устройство будет отрабатывать его лишь в виде молекулярной пленки, а это, естественно, очень неэффективно.

Несмотря на отмеченные недостатки, использование сил поверхностного натяжения, а не адсорбентов или фильтрующих материалов для удаления нефти и ее продуктов с поверхности воды заслуживает самого серьезного одобрения и развития. Также весьма удачным является решение сбора нефтепродуктов в кювету без дна [6].

Последний из намеченных к рассмотрению методов сбора нефти или ее продуктов с поверхности воды – сепарация в поле слабых

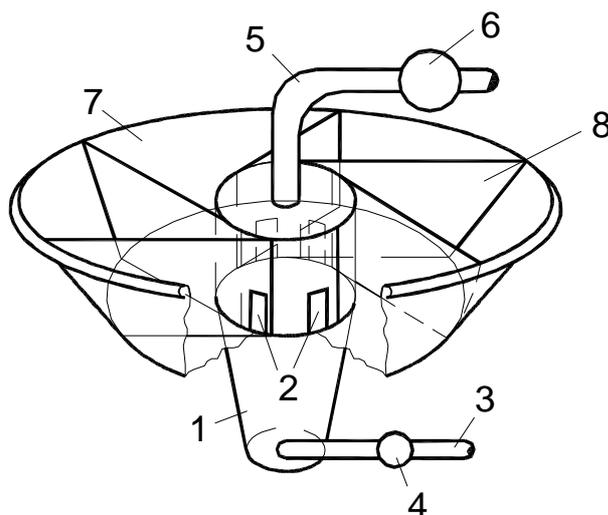
центробежных сил. Посредством данного метода можно обрабатывать большие объемы нефти и ее продуктов.

Одними из первых внедрили данный метод и довели его до промышленного испытания специалисты ВНИИ СПТнефть. В статье [7] описана работа нефтесборщика, основанная на эффекте вихревой воронки [8].

Анализ конструкционных особенностей нефтесборщика позволяет сделать вывод, что несмотря на аппаратную избыточность и большую энергонасыщенность, используемый принцип вихревой воронки малоэффективен. Он не позволяет активно управлять скоростью потока в воронке, в результате энергия тратится впустую, не обеспечивая должного отделения нефти от воды.

Более эффективная конструкция разработана и используется во Франции [9]. Для очистки поверхности водоемов от нефти и нефтепродуктов применяются устройства типа "Циклон". Они работают на принципе центробежной сепарации и не имеют движущихся деталей. Простота конструкции и эксплуатации, а также высокая, по мнению авторов, эффективность аппарата типа "Циклон" сделали его надежным орудием для очистки водной поверхности от разлившейся нефти и нефтепродуктов.

Подобное же техническое решение, только с усовершенствованным приемным устройством, представлено во Французском патенте [10] (рис. 1).



**Рисунок 1 – Устройство для сбора нефтепродуктов с поверхности воды**

Устройство включает: циклон 1; питающие патрубки 2; патрубок тяжелой фазы жидкости (воды) 3 с регулируемым клапаном 4; патрубок легкой фазы жидкости (нефтепродуктов) 5 с регулируемым клапаном 6; водоприемную воронку 7 с разделительными стенками 8.

Недостатком представленных технических решений является их низкая эффективность и производительность, так как работа осуществляется за счет движения самого судна или за счет откачки загрязненной жидкости только через один сливной патрубок в гидроциклоне. При этом отсутствует какая-либо возможность управлять скоростью потока в аппарате, за исключением ее гашения посредством регулировочных клапанов 4 и 6, а ведь именно от скорости зависит не только эффективность, но и работоспособность устройства.

Проанализировав методы и технические решения отделения нефти и ее продуктов от воды, видим, что метод, основанный на силах поверхностного натяжения, и метод, основанный на сепарации в поле слабых центробежных сил, могут найти применение при удалении нефтепродуктов в водах поверхностного стока.

Отмеченные положительные качества метода, основанного на силах

поверхностного натяжения собираемого продукта, позволили увидеть направления совершенствования самого метода и технических средств, его реализующих [11].

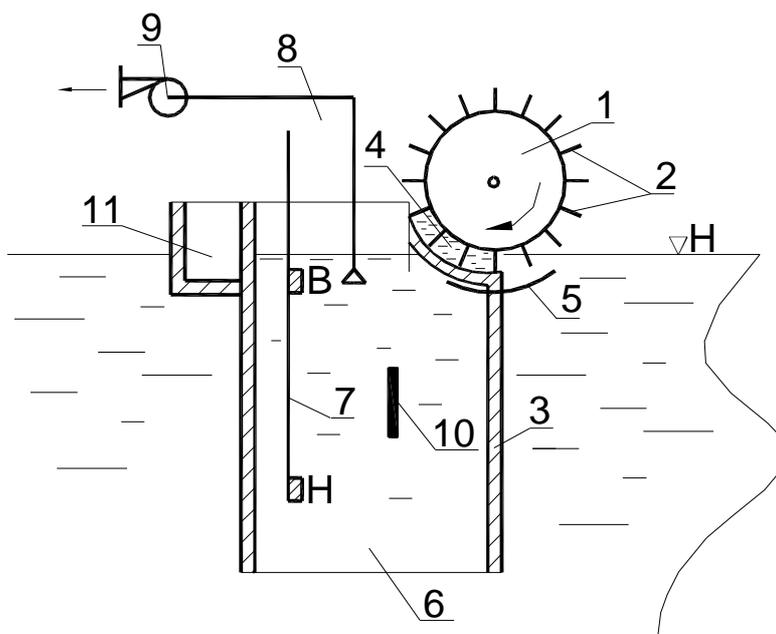
Анализ действия устройств позволяет заключить, что стягивание нефтяной пленки с поверхности воды прямо пропорционально площади боковой поверхности цилиндрического барабана. За счет вращения этого барабана создается транспортирующая скорость в щелевом канале. Исходя из этого, одним из способов повышения эффективности работы устройства будет увеличение площади боковой поверхности нефтесборного барабана при учете транспортирующей скорости.

Увеличить площадь боковой поверхности нефтесборного барабана можно, сделав ее не гладкой, а с различными выступами. Рассмотрев задачу выбора рациональных форм выступов, их расположения на боковой поверхности барабана, можно рекомендовать выступы в виде циклоиды вращения, что приведет к увеличению рабочей площади более чем в 7 раз.

Дальнейшие исследования в этом направлении позволили разработать ряд устройств и способов, использующих описанный принцип [12; 13; 14].

Одна из нефтеловушек, представленная на рисунке 2, внедренная в производство и эффективно работающая в течение ряда лет на автомобильной мойке, устроена следующим образом: цилиндрический нефтесборный барабан 1 с приводом, обеспечивающим направление вращения барабана, указанное на чертеже, 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 находятся: датчик

уровня раздела сред нефть-вода 7, всасывающий патрубок 8 насоса 9 и источник колебаний 10, например, ультразвуковой генератор. Все устройство может быть закреплено на штангах или на плавающих понтонах 11, обрамляющих корпус 3, причем во всех случаях барабан 1 должен быть погружен в жидкость на высоту эластичных лопастей 2.



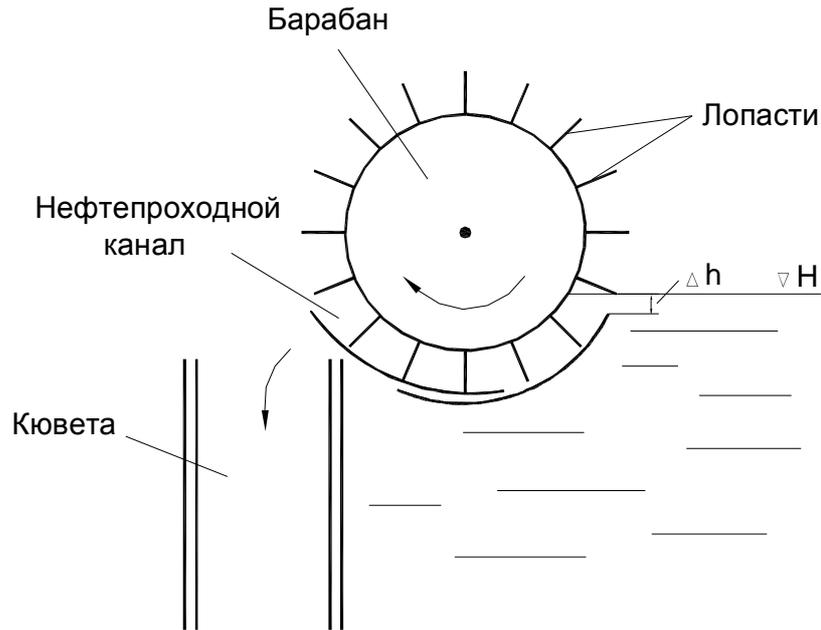
**Рисунок 2 – Устройство для сбора нефтепродуктов с поверхности воды**

Устройство работает следующим образом: при вращении барабана 1 с лопастями 2 в направлении, указанном стрелкой, нефтепродукты с поверхности воды захватываются лопастями 2 и продвигаются 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 нефтепродуктов незначительна, то телескопическая вставка

5 выдвигается на такую величину, чтобы глубина жидкости над порогом, образованной крайней кромкой выдвигаемой вставки, была бы соизмерима с толщиной разлитого нефтепродукта. Тогда нефтепродукты переливаются через кромку водослива без воды или при ее минимуме в нефтепроводной канал 4 и далее лопастями подаются в кювету 6. Поступившие вместе с водой в кювету 6 нефтепродукты обезвоживаются посредством импульсного действия ультразвукового генератора 10, расположенного в кювете, вытесняют воду из кюветы и заполняют ее до нижнего уровня, отслеживаемого датчиком 7. Тогда включается насос 9, и через всасывающий патрубок 8 происходит откачивание обезвоженных нефтепродуктов до верхнего уровня. В это время в кювету вода поступает снизу, а нефтепродукты, собранные в кювету, отсечены от водной акватории.

Нами проведены теоретические исследования и расчет элементов роторов нефтеловушек с эластичными лопастями и камерами. Анализ работы обоих видов роторных нефтеловушек позволяет заключить, что определяющими в их работе будут такие конструктивные и технологические параметры, как скорость вращения барабана, напор на водосливе, высота лопастей.

В устройстве роторной нефтеловушки с эластичными лопастями, в соответствии с рисунком 3, расчету подлежит скорость вращения барабана и высота лопастей, а также напор на водосливе.



**Рисунок 3 – Расчетная схема нефтеловушки с эластичными лопастями**

Проведенные теоретические расчеты по выявлению взаимосвязей между средней скоростью вращения барабана, высотой лопасти на ней и напором на водосливе позволили получить зависимость (1):

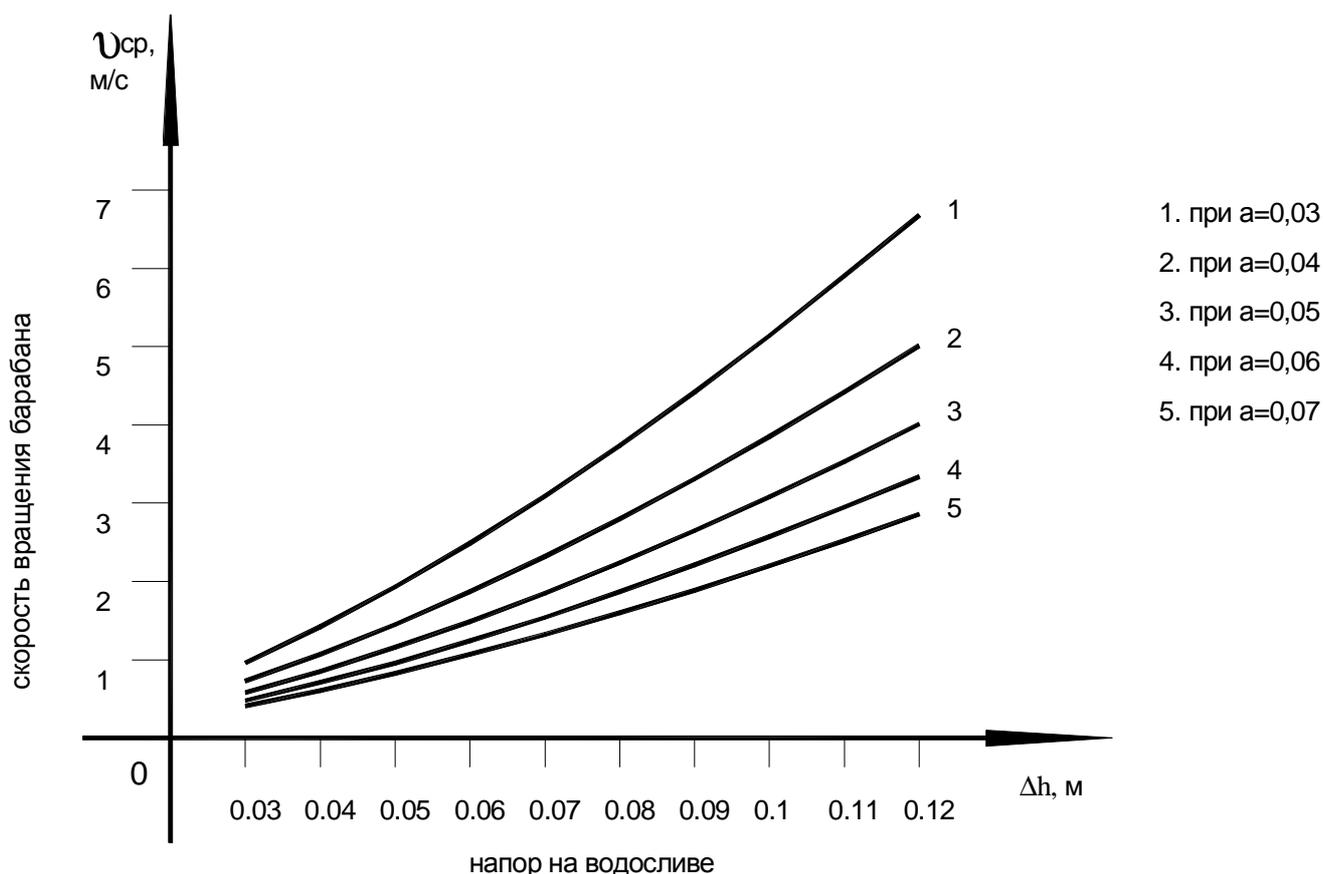
$$\vartheta_{cp} = \frac{8 \cdot m \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h}^{3/2}}{\pi \cdot a}, \quad (1)$$

где  $m$  – коэффициент расхода;

$\Delta h$  – напор на водосливе;

$a$  – высота лопасти на барабане.

Приняв основные конструктивные и технологические данные близкими к реальным условиям, мы осуществили расчет скорости движения барабана нефтеловушки, результаты которого представлены на графике (рис. 4).



**Рисунок 4 – График зависимости  $v_{CP} = f(\Delta h, a)$**

Анализ функциональных графических зависимостей по угловым коэффициентам секущих показывает, что они уменьшаются с увеличением высоты лопасти, например, если при  $a=0,03\text{м}$   $tg\beta=63,49$ , то при  $a=0,07\text{м}$   $tg\beta=27,21$ .

Для назначенных конструктивно-технологических параметров роторной нефтеловушки с эластичными лопастями, базирующихся на реальных размерах, имеем, что при одинаковом изменении напора на водосливе нефтеловушки большее влияние на скорость движения барабана и на весь процесс будет производиться при меньших размерах высоты лопасти. Данный вывод дает право рекомендовать при изготовлении нефтеловушек стремиться к большей высоте лопасти с условием обеспечения ее большей жесткостью.

Подобные расчеты были осуществлены и для роторной нефтеловушки с эластичными камерами, где теоретическая зависимость по аналогии с расчетами для нефтеловушки с эластичными лопастями имеет вид (2):

$$v_{cp} = \frac{m\sqrt{2g} \cdot R(R+a)\Delta h^{3/2}}{\pi \cdot a^2(17R+20a)}, \quad (2)$$

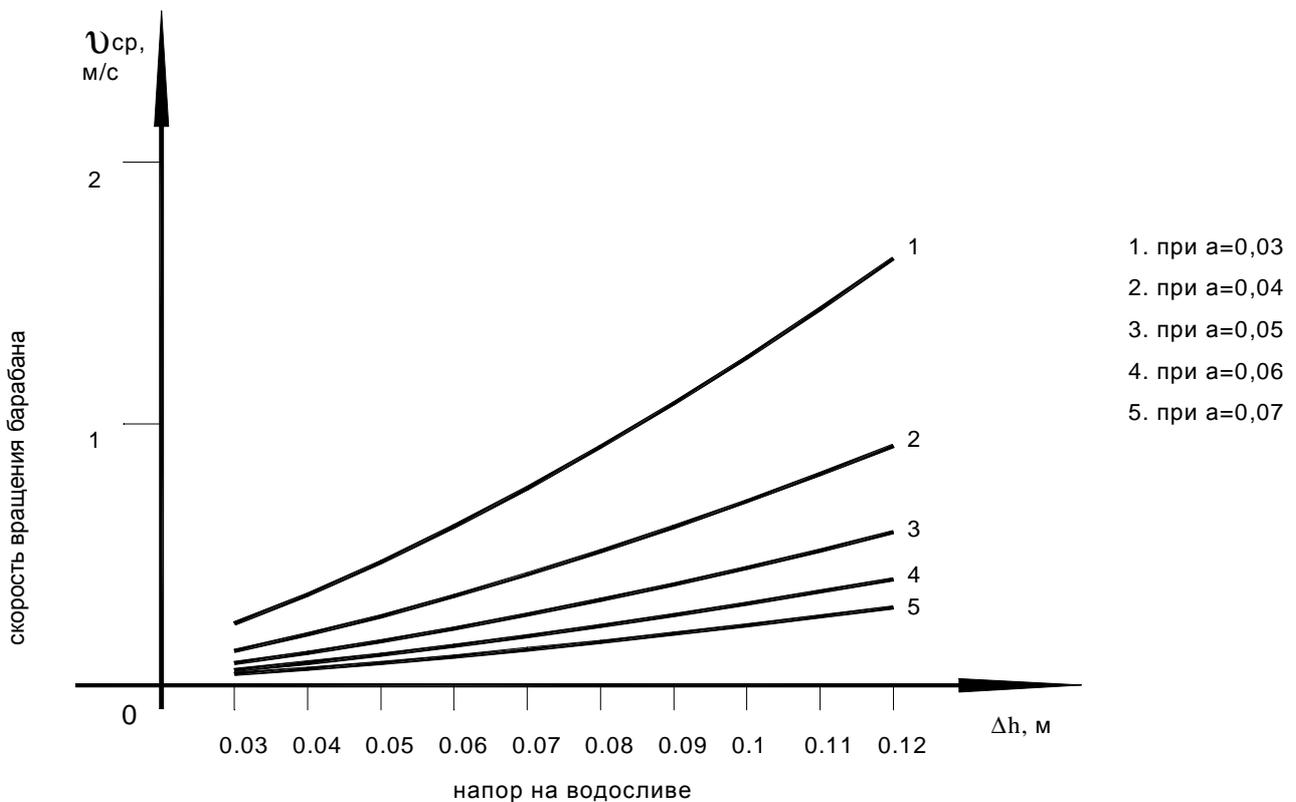
где  $m$  – коэффициент расхода;

$\Delta h$  – напор на водосливе;

$a$  – высота лопасти на барабане;

$R$  – радиус барабана.

Графическая зависимость для нефтеловушки с эластичными камерами представлена на рисунке 5.



**Рисунок 5 – График зависимости  $J_{CP} = f(\Delta h, a)$**

Графическая зависимость позволяет определить основные конструктивные и технологические параметры роторной нефтеловушки с эластичными камерами, связав ее параметры с конкретными производственными условиями и требованиями.

Анализ функциональных графических зависимостей по угловым коэффициентам текущих показывает, что они уменьшаются с увеличением высоты уступа эластичной камеры.

Для назначенных конструктивно-технологических параметров роторной нефтеловушки с эластичными камерами, базирующихся на реальных размерах, имеем, что при одинаковом изменении напора на водосливе нефтеловушки большее влияние на скорость движения барабана и на весь процесс будет при меньших размерах высоты уступа. Это дает право рекомендовать при изготовлении данных нефтеловушек стремиться к большей высоте уступов, учитывая возможность обеспечения их жесткости.

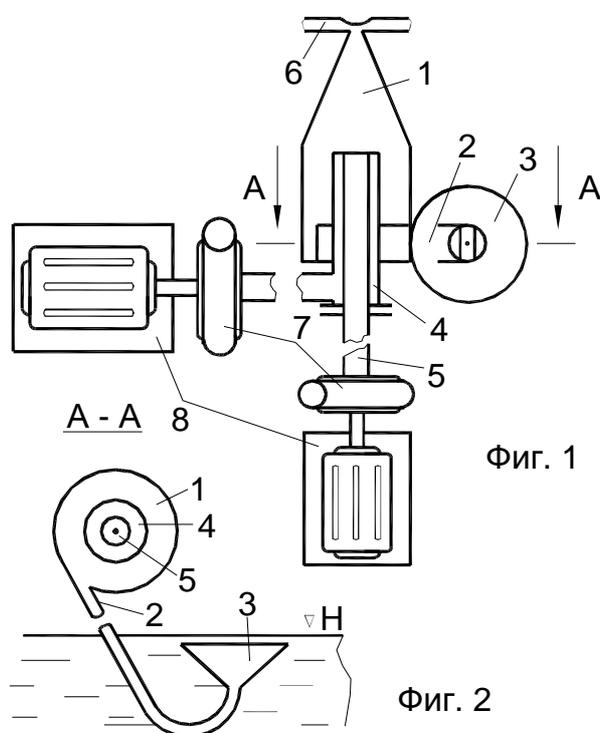
Таким образом, нефтеловушки, которые работают на принципе сил поверхностного натяжения, получили должное экспериментальное и теоретическое обоснование, они апробированы в производстве, показали хорошую работоспособность и рекомендуются нами для сбора нефти и ее продуктов с вод поверхностного стока в технологиях, обеспечивающих возможность сбора последней в накопительные емкости.

В настоящее время разработано много конструкций нефтеловушек, работающих на принципе центробежной сепарации в поле слабых сил, которые признаны весьма перспективными для борьбы с нефтепродуктами во многих ситуациях. В ряде случаев это единственное техническое и технологическое средство, способное справиться с нефтью или нефтепродуктами, разлившимися на больших водных акваториях – морских, речных или озерных. Однако известные технические средства и

технологии, основанные на них, имеют ряд существенных недостатков. В числе таких недостатков сложность управления или активного влияния на факторы, определяющие качество очистки и объемы обрабатываемой жидкости.

С целью расширения области применения нефтеловушек, работающих на принципе центробежной сепарации в поле слабых сил, повышения их эффективности и увеличения объемов обрабатываемой жидкости, нами разработано несколько способов и технических средств для их реализации.

Сущность технического решения способа регулирования сбора нефтепродуктов и устройства для его осуществления [15] поясняется на рисунке 6. На фигуре 1 изображен общий вид устройства, в качестве примера трехпродуктовый, вакуумный, цилиндроконический гидроциклон, на фигуре 2 разрез по А – А фигуры 1.



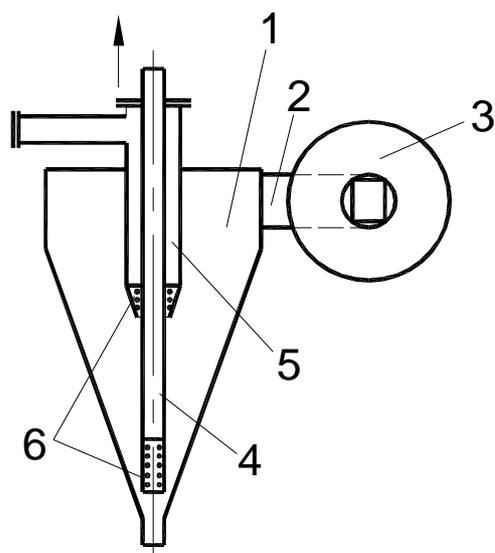
**Рисунок 6 – Способ регулирования сбора нефтепродуктов и**

### **устройство для его осуществления**

Устройство для сбора нефтепродуктов с поверхности воды включает цилиндроконический многопродуктовый вакуумный гидроциклон 1, питающий патрубок 2; нефтеприемную воронку 3; сливной патрубок 4; патрубки легкой фазы 5; эжектирующее устройство 6; насосы 7 и электрические двигатели 8.

Устройство для сбора нефтепродуктов с поверхности воды работает следующим образом. Гидроциклон 1 посредством питающего патрубка 2 соединен с нефтеприемной воронкой 3. Вся эта система крепится на подвижной раме, на плавучем средстве. Заглубив воронку 3 под уровень нефтепродуктов, запускают электродвигатель 8 и насос 7 сливного патрубка 4. За счет этого в теле гидроциклона 1 создается разрежение, и нефтепродукты с поверхности воды начнут поступать в гидроциклон. Вследствие тангенциальности подвода питающего патрубка 2 и конструктивного исполнения гидроциклона 1 поступающей жидкости обеспечивается вращательное движение. В поле слабых центробежных сил ее легкая фаза, то есть нефть и нефтепродукты, концентрируются по оси аппарата вокруг образовавшегося воздушного шнура и отводятся из гидроциклона. Тяжелая фаза жидкости, то есть осветленная вода, отводится через другой патрубок слива или посредством эжектирующего устройства 6.

Устройство для сбора нефтепродуктов с поверхности воды [16] представлено на рисунке 7.



**Рисунок 7 – Устройство для сбора нефти и нефтепродуктов  
с поверхности воды**

Устройство для сбора нефти и нефтепродуктов с поверхности воды включает цилиндрикоконический многопродуктовый вакуумный гидроциклон 1, соединенный посредством питающего патрубка 2 с нефтеприемной воронкой 3. По центральной оси гидроциклона 1 коаксиально установлены патрубки сливной 4, легкой фазы 5 и тяжелой фазы 6, а также насадки 7 на патрубки.

Устройство работает следующим образом. Воронка 3 заглубляется под уровень очищаемой воды. Запускаются насосы, обеспечивающие откачку через сливной патрубок 4 тяжелой фазы жидкости, а через патрубок 5 – легкой фазы жидкости, то есть нефтепродуктов. После начала процесса откачки вакуумируется внутреннее пространство гидроциклонной нефтеловушки 1, и жидкость с нефтепродуктами через воронку 3 и тангенциальный питающий патрубок 2 поступает в аппарат. Вследствие тангенциальности подвода питающей многофазной жидкости ей придается вращательное движение в теле гидроциклона, и под

действием центробежных сил происходит разделение этой жидкости по плотности. Чем больше разность сепарируемых жидкостей по плотности, тем эффективнее процесс разделения. Каждый продукт, в зависимости от плотности, займет свое место по радиусу на центральной оси аппарата, и именно там располагается вход в патрубок или патрубки легкой фазы 5, если гидроциклон многопродуктовый. Для равномерности отбора как осветленной воды, так и легкой фазы жидкости, для улучшения гидродинамической структуры потока в теле аппарата на патрубки как сливной 4, так и легкой фазы 5 устанавливаются перфорированные конические раструбные насадки 6.

Работа устройства возможна как в надводном положении гидроциклона, так и в подводном, неизменным относительно уровня воды должно остаться положение нефтеприемной воронки 3.

Разработанные технические и технологические решения по центробежной сепарации просты по конструкции, а в связи с отсутствием движущихся частей надежны в работе. Благодаря многопродуктовому принципу и тому, что каждый выводной патрубок гидроциклонной нефтеловушки снабжен принудительным выводом, имеется возможность повысить эффективность разделения многофазных жидкостей и интенсифицировать все процессы в гидроциклоне за счет широкой возможности перераспределять расходы в аппарате.

Анализ технологических и технических решений по безреагентному сбору нефтепродуктов с поверхности воды позволяет рекомендовать для небольших замкнутых акваторий и в технологиях промышленных производств способы и технические средства, работающие на принципе сил поверхностного натяжения. При обработке больших объемов воды или при сборе нефтепродуктов с поверхности рек, озер и морей наиболее приемлемыми являются методы центробежной сепарации в поле слабых сил и технические средства, их реализующие.

## Список литературы

1. Булатов, А. И. Охрана окружающей среды в нефтегазовой промышленности / А. И. Булатов, П. П. Макаренко, В. Ю. Шеметов. – М. : Недра, 1997. – 483 с.
2. Пат. 2006549 РФ. Устройство для сбора нефти с поверхности воды / Иванов В. Г.; опубл. в БИ, 1994. – № 2.
3. Веселов, Ю. С. Водоочистное оборудование. Конструирование и использование / Ю. С. Веселов [и др.]. – Л. : Машиностроение, 1985. – 232 с.
4. А. с. 977566 СССР. Плавающее устройство для сбора нефти и других веществ с поверхности воды / М. В. Подружин; опубл. в БИ, 1982. – № 44.
5. А. с. 138387 СССР. Устройство для забора поверхностного слоя жидкости / А. С. Протасенко, А. П. Колесник, Г. Д. Полищук; опубл. в БИ, 1988. – № 14.
6. Пат. 2006550 РФ. Устройство В. М. Пивоварова для сбора нефтепродуктов с поверхности воды / Пивоваров В. М.; опубл. в БИ, 1994. – № 2.
7. Губин, В. Е. Промышленные испытания устройства для сбора нефти с поверхности воды при аварийных разливах / В. Е. Губин [и др.] // РНТС "Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов". – М. : ВНИИОЭНГ, 1976. – № 5.
8. Стоянов, Г. И. Вихревая воронка для сбора нефти с поверхности воды / Г. И. Стоянов [и др.] // РНТС "Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов". – М. : ВНИИОЭНГ, 1973. – № 7.
9. Марков, В. И. Циклон – морской санитар / В. И. Марков, Ю. П. Степанов // Журн. "Нефтяник". – 1977. – № 2, С. 29–30.
10. Пат. 2253879 Франция.
11. Дегтярев, Г. В. Совершенствование методов и средств по сбору нефтепродуктов с поверхности воды / Г. В. Дегтярев, В. Н. Гетман, О. Г. Дегтярева // Разработка эффективных технологий повышения качества строительства и надежности зданий и сооружений : сб. науч. тр. / КубГАУ, Краснодар. – Краснодар, 2000. – Вып. 384(412). – С. 21–25.
12. Пат. 2190724 РФ. Устройство для сбора нефтепродуктов с поверхности воды / Дегтярева О. Г., Гетман В. Н., Дегтярев Г. В.; опубл. в БИ, 2002. – № 28.
13. Пат. 2190723 РФ. Устройство для сбора нефтепродуктов с поверхности воды / Дегтярев Г. В., Дегтярева О. Г.; опубл. в БИ, 2002, – № 28.
14. Пат. 2228998 РФ. Устройство для сбора нефтепродуктов с поверхности воды / Дегтярева О. Г., Сафронова Т. И., Дегтярев Г. В.; опубл. в БИ, 2004. – № 14.
15. Пат. 2228997 РФ. Устройство для регулирования сбора нефтепродуктов с поверхности воды / Дегтярев Г. В., Дегтярева О. Г.; опубл. в БИ, 2004. – № 14.
16. Пат. 2205260 РФ. Устройство для сбора нефтепродуктов с поверхности воды / Дегтярев Г. В., Дегтярева О. Г.; опубл. в БИ, 2003. – № 15.