

В.Д. НАЗАРОВ

доктор технических наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения
Уфимский государственный нефтяной технический университет

М.В. НАЗАРОВ

кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения,
директор малого инновационного предприятия ООО «Аквита»
Уфимский государственный нефтяной технический университет

М.Р. ХАБИБУЛЛИНА

аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения
Уфимский государственный нефтяной технический университет

**ОЧИСТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД
ЭЛЕКТРОФЛОТАЦИЕЙ****ELECTROFLOTATION IN INDUSTRIAL WASTEWATER PURIFICATION**

Установлено, что скорость барботажной воды газобразным водородом и кислородом линейно зависит от плотности тока и не зависит от концентрации электролита. Разработан многоступенчатый метод очистки нефтесодержащих вод, включающий в себя последовательное фильтрование в коалесцирующей загрузке, углеводородной жидкости и доочистку электрофлотацией и способ разделения газообразных продуктов электролиза с использованием водорода в качестве флотирующего агента, а кислорода – в качестве окислителя, который в присутствии катализатора очищает воду от растворенных органических веществ. Показана возможность создания комбинированной технологии очистки промышленных сточных вод, включающей в себя электролитические и флотационные методы.

Ключевые слова: скорость барботажной, плотности тока, концентрация электролита, коалесцирующая загрузка, электролитические и флотационные методы.

Производственные сточные нефтесодержащие воды представляют собой дисперсную систему, в которой дисперсионной средой является вода, а дисперсной фазой – нефть, нефтепродукты и взвешенные вещества. Характерные признаки такой системы – наличие большой поверхности раздела фаз, а также высокая устойчивость дисперсной системы.

Около 70 % диспергированных частиц имеет размер менее 10 мкм. Скорость седиментации таких частиц составляет порядка микрометра в секунду. Подобные частицы можно рассматривать неподвижными, а их поверхность – сферической.

Флотационная очистка воды от таких частиц заключается в захвате их пузырьками газа и транспортировке их на поверхность воды в пенный слой. Вероятность такого захвата определяется вторым началом термодинамики, по которому в изолированной системе самопроизвольно могут протекать процессы уменьшения свободной энергии. При молекуляр-

It has been discovered that the speed of water barbotage with hydrogen gas and oxygen is linearly dependent on current density and does not depend on electrolyte concentration. A new multistage method has been developed to purify oily wastes. It includes consecutive filtering in coalescing load and hydrocarbon liquid, advanced treatment with electroflotation and separating electrolysis gas products using hydrogen as floating agent and oxygen as oxidant. The latter, in combination with catalyst, purifies water from organic matter dissolved in it. A possibility of creating mixed technology of industrial wastewater purification based on electrolytic and flotation methods is outlined.

Key words: barbotage speed, current density, electrolyte concentration, coalescent load, electrolytic and flotation methods.

ном прилипании частицы к пузырьку газа происходит уменьшение поверхностной энергии пограничных слоев. Молекулярное прилипление определяется поверхностными эффектами, проявляющимися на трехфазной границе раздела. Поверхностные явления играют определяющую роль в процессе флотационной очистки сточных вод, однако для управления этим процессом необходимо учитывать молекулярные, гидродинамические, электростатические и гравитационные силы.

Применительно к вопросам очистки производственных сточных вод представляет интерес процесс флотационного извлечения мелких частиц размером порядка 10 мкм и менее. Флотация таких частиц получила название микрофлотации. В отличие от обычной флотации, элементарный акт которой осложнен инерционным ударом и сопутствующей ему деформацией поверхности пузырька, микрофлотация является в полной мере коллоидно-химическим процессом.

Вероятность закрепления частицы на поверхности пузырька определяется вероятностями прилипания частицы и сохранения ее на пузырьке, поскольку возможен отрыв этой частицы либо под действием силы тяжести, либо под влиянием сил инерции. Эти силы пропорциональны объему частиц, т.е. велики для крупных частиц и малы для мелких.

Для крупных частиц возможна лишь одна форма их закрепления - формирование трехфазного периметра смачивания, приводящая к образованию краевого угла смачивания. Подобная флотация носит название контактной. Для малых частиц наряду с контактной принципиально возможна флотация бесконтактная, при которой частица закрепляется без образования периметра смачивания и краевого угла [1].

Показатели очистки сточных вод электрофлотацией (ЭФ), напорной и импеллерной флотацией (НФ, ИФ) и отстаиванием (ОС)

Показатели очистки	Значения показателей в зависимости от методов разделения жидкой и твердой фаз			
	ЭФ	НФ	ИФ	ОС
Размер пузырьков	5...30 мкм	50...100 мкм	0,5...2 мм	—
Расход электроэнергии, Вт/м ³	20...40	50...60	100... 150	50... 100
Химическое кондиционирование	НК	ОК + Ф	ОК	НК + Ф
Продолжительность обработки, мин	10...15	30...40	30...40	100...120
Объем, занимаемый осадком, % объема очищаемой воды	0,1...0,2	0,3...0,4	3...5	7...10
Влажность осадка, %	92... 95	92...96	92...96	98...99
Эффективность извлечения, %:				
- взвесей	95...98	90...95	85...90	70...80
- эмульсий	90...95	85...90	60...80	50...70

Примечание. НК - неорганический коагулянт, Ф - флокулянт, ОК — органический коагулянт.

Из таблицы видно, что загрязнения извлекаются значительно быстрее электрофлотацией, чем отстаиванием, напорной или импеллерной флотацией. При этом эффект удаления загрязнений значительно повышается, что следует считать главным преимуществом электрофлотационного метода.

Шлам, полученный при электрофлотации, имеет более низкую влажность — 92...95 %, его объем в 5,0... 10,0 раз меньше, чем объем осадка при отстаивании.

Определение скорости барботажа

Эффективность очистки природных и сточных вод флотацией зависит, прежде всего, от скорости барботажа и дисперсности газовых пузырьков. Скорость барботажа определяли на лабораторной установке. В качестве электролита использовали растворы хлористого натрия концентрации (1-100) г/л.

Результаты определения скорости барботажа пузырьками водорода, образованными на катоде из алюминия и магния, а также пузырьками кислорода, образованными на аноде из графита, приведены на рис. 1.

Различие между двумя формами закрепления возможно лишь для мелких гидрофильных частиц. Для флотации крупных гидрофильных частиц необходимо применять реагенты, гидрофобизирующие их поверхность. Флотация мелких гидрофильных частиц возможна и без применения реагентов.

Другой путь обеспечения флотации заключается в создании на поверхности пузырька заряда, противоположного по знаку заряда частицы, что приведет к взаимодействию двойных слоев и появлению сил притяжения. Этого можно добиться применением ионогенных ПАВ.

В Российском химико-технологическом университете им. Д.И. Менделеева проведены опыты по очистке сточных вод различными методами флотации [2]. В качестве эталона использован метод седиментации. Результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Установлено, что скорость барботажа линейно зависит от плотности тока: $q = kj$, где k — константа скорости барботажа, м³/А·ч; j — плотность тока, А/м².

Установлено, что скорость барботажа не зависит от концентрации электролита в исследованном диапазоне.

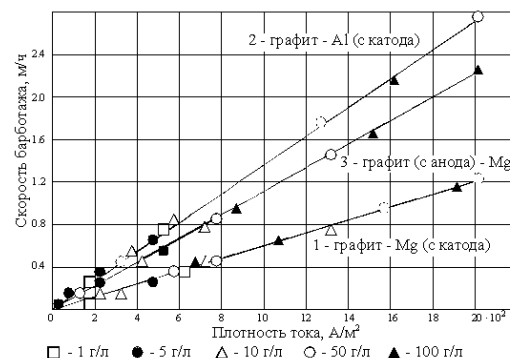


Рис.1. Скорость барботажа воды пузырьками газа в растворах хлористого натрия:

1 — водорода с катода из магния; 2 — водорода с катода из алюминия; 3 — кислорода с анода из графита

Электрофлотатор с гидрофобным и коалесцирующим фильтром

Целью испытаний являлось определение качества очистки промышленной сточной воды от нефти на опытно-промышленном вертикальном электрофлотаторе и оптимальных параметров работы. Объектом испытаний явился опытно-промышленный образец электрофлотатора [3], оборудованный коалесцирующим и гидрофобным фильтром. Общий вид вертикального электрофлотатора представлен на рис. 2.



Рис. 2. Общий вид вертикального электрофлотатора

Испытания проводились на модельной эмульсии с содержанием нефти 70 г/л. В процессе испытания при постоянном расходе воды 0,3 м³/ч меняли силу тока, подаваемого на электроды, и давление в аппарате. В установившемся режиме отбирались пробы эмульсии на входе и выходе очищенной воды.

Результаты экспериментов представлены на рис. 3.

Из приведенного рисунка следует, что при максимальной плотности тока концентрация нефти равна 185 мг/л. Можно сказать, что в данном случае электрофлотация не играет существенной роли, а очистка воды происходит за счет коалесценции в коалесцирующем и гидрофобном фильтрах, которые извлекают 99,7 % нефти. Это позволяет отказаться от предварительной очистки загрязненных вод известными механическими методами (жидкостными фильтрами, отстойниками с нефтеловушками и т.д.).

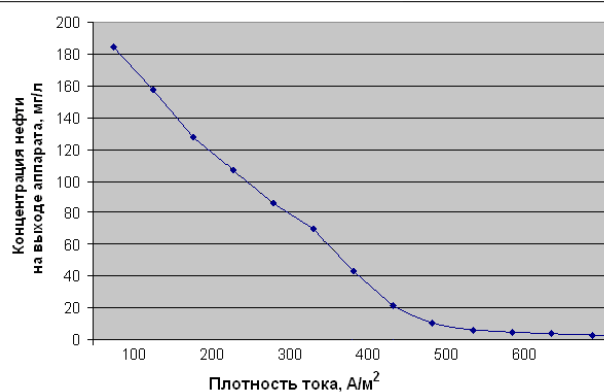
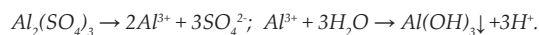


Рис. 3. Зависимость остаточной концентрации нефти от плотности тока

С повышением плотности тока на электродах, как и следовало ожидать, уменьшается остаточное содержание нефти до концентрации 7 мг/л, что характерно для процессов флотации. С целью увеличения эффекта очистки были проведены опыты с применением реагентов и процессов доочистки фильтрованием.

Для интенсификации процесса хлопьеобразования и повышения эффекта очистки на электрофлотаторе использовали коагулянт (сернокислый алюминий), который вводился в емкость перед электрофлотатором с дозой 25 мг/л. Пробы воды для количественного анализа нефтепродуктов отбирались до и после введения коагулянта.

При введении в раствор сернокислого алюминия происходит диссоциация и гидролиз:



Гидроксид алюминия сорбирует взвешенные вещества и капли нефти.

Кроме того, проверялась сорбционная способность фильтрующей загрузки (силицированный кальцит), для чего очищенную на флотаторе эмульсию фильтровали в зернистой загрузке. Результаты испытаний представлены в табл. 2 и на рис. 4.

Из результатов опытов следует, что введение коагулянта в очищаемую воду, а также последующее фильтрование уменьшает остаточное содержание загрязняющих веществ. В эксперименте № 6 отключали источник питания электрофлотатора, при этом ухудшалось качество очищенной воды, однако первые две ступени аппарата (коалесцирующий и гидрофобный фильтр) продолжали очищать воду.

С патрубком вывода нефтешлама (рис. 6) отбирались пробы нефти для определения содержания воды.

Таблица 2

Влияние коагуляции и фильтрования на остаточное содержание загрязняющих веществ

Номер эксперимента	Место отбора проб	Давление, кгс/см ²		Концентрация, мг/л	
		на входе	на выходе	общее содержание орг. веществ	содержание нефтепродуктов
1	Вход	-	-	180,00	132,70
2	После электрофлотации	0,2	0,05	83,30	37,00
3	После электрофлотации и фильтрования	0,2	0,05	52,50	19,64
4	После электрофлотации с коагулянт	0,2	0,05	35,00	9,70
5	После электрофлотации с коагулянт и фильтрования	0,2	0,05	27,94	4,40
6	Без тока	0,2	0,05	92,60	54,40

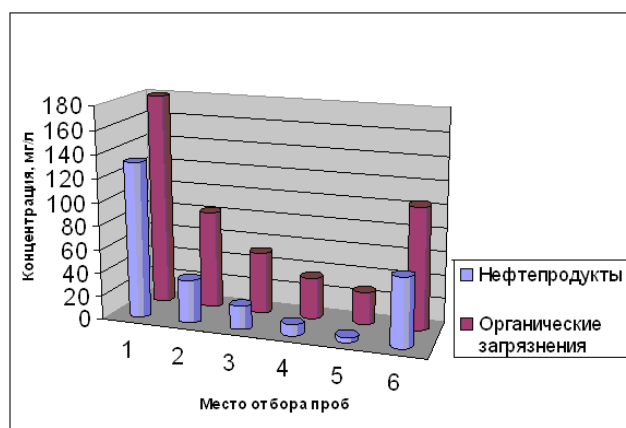


Рис. 5. Результаты очистки нефтесодержащей воды электрофлотацией и фильтрованием



Рис. 6. Выход нефтепродукта (при исходной концентрации нефти 70000 мг/л)

Электрофлотатор с каталитической камерой

Электрофлотация основана на электролизе воды, в результате чего образуются газообразные продукты: кислород и водород. Газы, выполняя функцию флото-агента, после использования сбрасываются в систему вентиляции. Нами предложено разделить кислород и водород, с тем чтобы использовать окислительную способность кислорода для доочистки воды.

На рис. 7 представлена схема электрофлотационного аппарата, содержащего корпус 1 с вертикальными перегородками 2, которые делят аппарат на приемную камеру 3, флотационную камеру 4, разделенную горизонтальной мембраной 5 на катодную 6 и анодную 7 камеры с горизонтально размещенными электродами (анод 8 выполнен в виде сплошной пластины и расположен на дне анодной камеры 7, катод 9 выполнен из расположенных параллельно аноду отдельных сетчатых элементов), каталитическую камеру 10, заполненную катализатором, и камеру сбора очищенной воды 11. Камеры сбора шлама 12, 13 находятся над усеченными призмами пеносборных устройств 14, откуда через патрубки отвода газа 15, 16 удаляется соответственно водород и кислород. Для подвода очищаемой воды используется патрубок 17, для отвода очищенной воды - 18. Рециркуляция воды производится патрубком подачи очищенной воды 19 в анодную камеру 7.

Очистка сточных вод производится следующим образом. Вода через патрубок 17 подается в приемную камеру 3, откуда - во флотационную камеру 4, где происходит флотация за счет выделившегося в процессе электролиза водорода. Шлам через пеносборное устройство 14 удаляется в шламовую камеру 12, водород отводится через патрубок 15, а предварительно очищенная вода попадает в каталитическую камеру 10, заполненную каталитической минеральной загрузкой, где смешивается с насыщенной кислородом водой из анодной камеры. В качестве загрузки применен алюмо-марганцевый катализатор. За счет кислорода происходит окисление органических веществ, причем эффект усиливается каталитической загрузкой. Загрязняющие вещества флоатируются и удаляются с помощью пеносборного устройства 14 в шламовую камеру 13, кислород отводится через патрубок 16, а вода поступает в камеру сбора очищенной воды 11 и отводит-

ся из аппарата через патрубок 18. Часть очищенной воды через систему рециркуляции 19 подается на вход анодной камеры 7.

В состав модельных растворов, содержащих товарную нефть и взвешенные вещества, включали ароматические углеводороды (бензол), обладающие высокой растворимостью в воде.

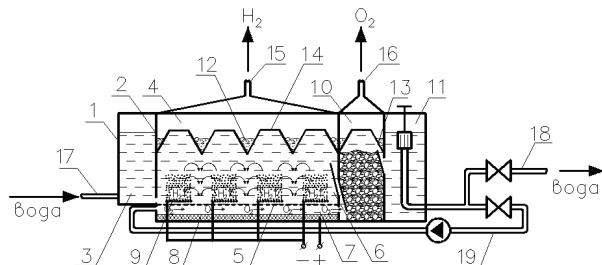


Рис. 7. Электрофлотационный аппарат с каталитической камерой:

- 1 – корпус; 2 – вертикальные перегородки;
- 3 – приемная камера; 4 – флотационная камера;
- 5 – мембрана; 6 – катодная камера; 7 – анодная камера;
- 8 – анод; 9 – катод; 10 – каталитическая камера;
- 11 – камера сбора очищенной воды; 12 – камера сбора шлама;
- 13 – камера сбора шлама; 14 – пеносборное устройство;
- 15 – патрубок отвода водорода; 16 – патрубок отвода кислорода;
- 17 – патрубок подачи воды; 18 – патрубок отвода воды;
- 19 – патрубок рециркуляции воды

Опыты по очистке воды проводили в два этапа. На первом этапе воду очищали только электрофлотацией, на втором после электрофлотации ее очищали в каталитической камере. Результаты опытов приведены в табл. 3. Расчетное время флотации – 30 мин.

Из приведенных данных следует, что разделение газообразных продуктов электролиза не снизило эффекта очистки воды флотацией, а использование кислорода в каталитической камере существенно уменьшило концентрацию трудноизвлекаемых (растворенных) органических веществ.

Раздельный отвод газообразного водорода и кислорода повышает безопасность использования аппарата, так как предотвращает возможность образования гремучей смеси.

Другим решением является многоэлектродный электрофлотатор с каталитической камерой, представленный на рис. 8 [4].

Таблица 3

Содержание загрязняющих веществ в воде до и после очистки

Загрязняющие вещества	Исходное значение, мг/л	Электрофлотация		Электрофлотация и окисление	
		Остаточное содержание, мг/л	Эффект, %	Остаточное содержание, мг/л	Эффект, %
Нефть	1000	7,8	99,2	2,7	99,7
Взвешенные вещества	300	8,7	97,1	6,6	97,8
Растворенные органические вещества	30	28,5	5,0	0,7	97,7

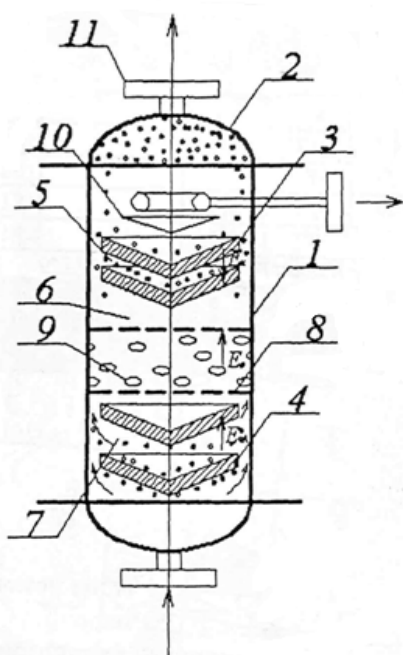


Рис. 8. Электрофлотатор многоэлектродный с каталитической камерой:

- 1 – корпус; 2 – эллиптические крышки;
- 3 – перфорированные катоды;
- 4 – аноды;
- 5 – катодная камера;
- 6 – межэлектродная камера;
- 7 – анодная камера;
- 8 – сетка;
- 9 – каталитический гранулированный материал;
- 10 – отражательная перегородка;
- 11 – патрубок отвода флотошлама

Устройство состоит из цилиндрического корпуса 1, устроенного вертикально, и эллиптических крышек 2. В корпусе устройства расположены конусообразные пористые или перфорированные катоды 3, количество которых равно двум или более, и аноды 4 (их количество равно двум или более) с углом конусности от 5 до 45°. Катоды 3 и аноды 4 подключены к источнику постоянного тока и имеют разное значение потенциала. Аноды изготовлены из материала, не растворимого при анодной поляризации (графит, оксиднокобальтовый титановый анод, оксиднорутениевый титановый анод и др.), катоды - из скелетного никеля, меди, пористого графита. Катоды и аноды выполнены в виде конусов, расположенных вершиной вниз. Между электродами и корпусом образован зазор для прохождения потока пузырьков водорода.

Электроды образуют катодные камеры 5, межэлектродную камеру 6, анодные камеры 7. В верхней части аппарата имеется патрубок отвода флотошлама 11. Между катодами и анодами горизонтально закреплены сетки 8, между которыми находится гранулированный катализатор 9. Водоотводящая система в виде кольца расположена в верхней части корпуса и защищена от потока воды конусообразной отражательной перегородкой 10.

Устройство работает следующим образом. Сточную воду, предварительно очищенную от грубодисперсных взвешенных веществ и нефтепродуктов, подают на вход аппарата. Вода равномерно распределяется по сечению аппарата, последовательно фильтруется в пористых анодах 4. Отрицательно заряженные частицы разряжаются при фильтровании в анодах, после чего объединяются в агрегаты (гомокоагуляция). Капли нефтепродуктов, в отличие от твердых частиц, коалесцируют. На отрицательно заряженные частицы в анодных камерах и в межэлектродной камере действуют электрофоретические силы, тормозящие их перенос вместе с водой. За счет этого увеличивается вероятность их извлечения пузырьками кислорода, образовавшимися на анодах. Затем вода, насыщенная пузырьками кислорода, фильтруется в гранулированном катализаторе 9. Катализатор усиливает окислительное действие кислорода, за счет чего окисляются органические вещества, находящиеся в воде в растворенном состоянии. В качестве катализатора использован промышленный алюмомарганцевый катализатор АОК-75-41. Убыль органических веществ определяли показателем химического потребления кислорода (ХПК).

Далее вода поступает в катодные камеры, в которых осуществляется аналогичным образом извлечение положительно заряженных частиц.

При прохождении воды в устройстве происходят следующие процессы.

Воду пропускают в однородных электрических полях, имеющих разное направление вектора напряженности электрического поля E . С этой целью вода последовательно проходит в одной или более анодных камерах 7 в направлении вектора E_A , затем - в межэлектродной камере 6 в направлении вектора $E_{\text{м}}$, после чего проходит в одной или более катодных камерах 5 против вектора E_K .

Извлекаемые частицы имеют определенное значение электрокинетического заряда и потенциала, поэтому в электрическом поле на них действуют электростатические силы. При прохождении по-

ложительно заряженных частиц в пористой среде катода происходит нейтрализация их заряда, что приводит к их гомокоагуляции с образованием агрегатов за счет молекулярных сил. Укрупнение частиц и уменьшение свободной поверхностной энергии их агрегата определяется вторым началом термодинамики.

На частицы, которые имеют нескомпенсированный заряд, действуют электрофоретические силы со стороны электрического поля.

Наблюдается эффект электрофоретического торможения отрицательно заряженных частиц как в анодных камерах, так и в межэлектродной камере.

Сначала вода поступает в анодные камеры 7, где она проходит в направлении вектора E_A .

При прохождении пористых анодов 4 частично происходит нейтрализация заряда отрицательно заряженных частиц, в основном капель нефти. Это приводит к коалесценции с образованием более крупных капель. В анодных камерах наблюдается электрофоретическое торможение отрицательно заряженных частиц. На анодах выделяются газобразные пузырьки кислорода. Таким образом, воду вначале обогащают окислительными частицами за счет электролиза, насыщают пузырьками кислорода, фильтруют в пористых или перфорированных анодах, а затем фильтруют в каталитической зернистой загрузке, после чего флотируют взвешенные вещества и эмульгированные нефтепродукты в поверхностный слой воды и отводят из устройства через соответствующий патрубок 11. Катализатор усиливает окислительное действие кислорода.

Затем поток воды фильтруют в пористых или перфорированных катодах, насыщают пузырьками электролитического водорода, флотируют взвешенные вещества и эмульгированные нефтепродукты в поверхностный слой воды. Флотошлам отводят через соответствующий патрубок 11. При наклонном положении электродов набегающий поток воды со скоростью V смывает газовые пузырьки с поверхности катода, направляя их вверх.

Рекомендуемая напряженность электрического поля $E_K = E_A = 100-150$ В/м, напряженность электрического поля в межэлектродной камере должна быть несколько больше и составляет $E_0 = 120-200$ В/м соответственно. Оптимальная скорость прохождения сточных вод равна 10 м/ч.

Рабочее давление аппарата составляет 0,2-0,5 МПа. Электроды имеют угол конусности, равный 5-45°. Толщина электродов $d = 0,04$ м, ширина катодных и анодных камер $c = d$, межэлектродной камеры $L = (2...3)d$, энергозатраты составляют 0,01 кВт-ч/м³.

Очистке подвергали промливневую воду нефтедобывающего предприятия.

Результаты даны в табл. 4. Из приведенных результатов следует, что при двух катодах и двух анодах больший эффект получен при неодинаковых потенциалах катодов и анодов. Лучший эффект очистки воды от взвешенных веществ и нефтепродуктов достигнут в случае неравенства потенциалов катодов и неравенства потенциалов анодов. Оптимальное значение потенциалов катодов составляет -10, -6, -2 В, анодов +10, +6, +2 В.

Содержание загрязняющих веществ в воде до и после очистки

Напряжение, В						Концентрация взвешенных веществ, мг/л			Концентрация нефтепродуктов, мг/л			ХПК, г/л		
Катоды			Аноды			Исх.	Ост.	Эффект, %	Исх.	Ост.	Эффект, %	Исх.	Ост.	Эффект, %
1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й									
-1	-1	отсут.	+1	+1	отсут.	34	22	35	21	12	43	59	44	25
-5	-5	отсут.	+5	+5	отсут.	34	8	76	21	7	67	59	1,4	97,6
-10	-10	отсут.	+10	+10	отсут.	34	6	82	21	4	81	59	0,4	99,3
-20	-20	отсут.	+20	+20	отсут.	34	5	85	21	3	86	59	0,1	99,8
-10	-5	отсут.	+10	+5	отсут.	34	3	91	21	2	90	59	0,5	99,1
-10	-10	-10	+10	+10	+10	34	5	85	21	3	86	59	0,2	99,7
-10	-6	-2	+10	+6	+2	34	1	97	21	1	95	59	0,4	99,3

Лучший эффект очистки воды от растворенных органических веществ достигнут при потенциале анодов +20, +20 В (два электрода) и +10, +10, +10 В (три электрода).

Электролизер-электрофлотатор

Устройство применимо для очистки производственных сточных вод от взвешенных веществ, нефтепродуктов, ионов железа и хрома, ПАВ [5].

На рис. 9 показана принципиальная технологическая схема обработки воды предлагаемым способом. Она содержит мембранный электролизер 1, разделенный мембраной 2 на анодную 3 и катодную 4 камеры. Выход анодной камеры 3 соединен с входом дегазатора 5, выход катодной камеры 4 - со входом электрофлотатора 6, разделенного вертикальными перегородками на приемную камеру 7, флотационную камеру 8 и камеру выпуска очищенной воды 9. Во флотационной камере дискретно расположены электродные блоки, состоящие из нерастворимого анода 10 из графита и сетчатого катода 11 из нержавеющей стали.

Сточную воду гальванических производств, содержащую ионы Fe^{2+} , подают на вход анодной камеры 3 мембранного электролизера 1. При электролизе воды в анодной камере выделяется газообразный кислород и хлор, под действием которых ионы железа окисляются до ионов Fe^{3+} . Оптимальным условием процесса является значение $pH=5,0...6,5$. Католит из катодной камеры подают в дегазатор, в котором отделяют избыточный кислород и хлор и отводят в атмосферу. Затем католит подают на вход катодной камеры 4 совместно со сточной водой гальванических производств, содержащей ионы Cr^{6+} . В катодной камере за счет накопления ионов OH^- происходит подщелачивание воды. В щелочной среде происходит восстановление ионов хрома до Cr^{3+} . Оптимальным условием процесса является значение $pH=7,5...9,0$. В катодной камере вода насыщается пузырьками водорода.

Обработанную в электролизере воду подают в приемную камеру 7 электрофлотатора 6, где ее смешивают с общезаводской сточной водой, содержащей взвешенные вещества, нефтепродукты и ПАВ.

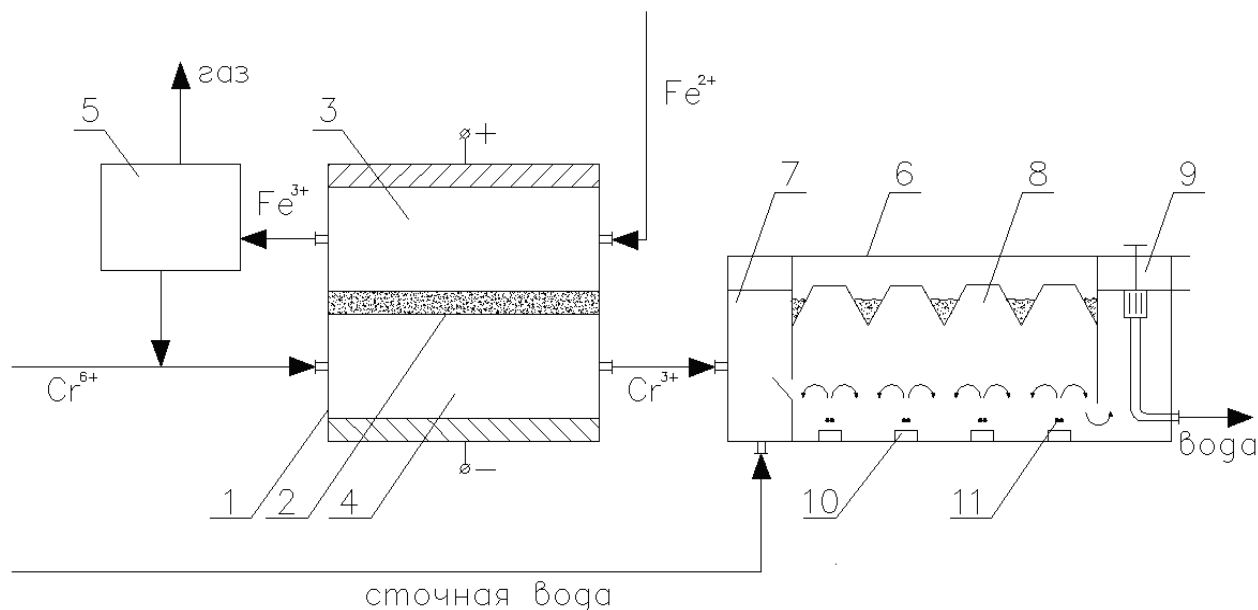


Рис. 9. Электролизер-электрофлотатор

Результаты опытов по очистке природных вод электролизером-электрофлотатором

Загрязняющее вещество	Исходная концентрация, мг/л	Конечная концентрация, мг/л	Эффект очистки, %
Fe^{2+}	37,0	0,6	98,4
Cr^{6+}	24,6	0,2	99,2
Взвешенные вещества	366	0,7	99,8
Нефтепродукты	33,5	1,2	96,4
ПАВ	4,6	0,1	97,8

Во флотационной камере 8 воду очищают от загрязняющих веществ пузырьками электролитического газа, полученными с помощью анода 10 и катода 11, а также пузырьками водорода, полученными в катодной камере электролизера. Эффективность процесса очистки воды электрофлотацией может быть существенно повышена применением стандартных железосодержащих или алюминийсодержащих коагулянтов. Указанную роль реагентов-коагулянтов играют ионы трехвалентных металлов железа и хрома, которые в интервале pH 7,5...9,0 гидролизуются с образованием нерастворимых гидроксидов.

Недостатком многих водоочистных устройств, в том числе электрофлотаторов, работающих в динамическом режиме, является малое время пребывания некоторых элементов объема в аппарате

(меньшее среднего расчетного значения). С этим недостатком можно бороться применением нескольких последовательно расположенных камер, однако это приводит к увеличению металлоемкости аппаратов.

Задача решается созданием конвективных потоков в поперечном направлении за счет дискретного расположения электродных блоков, при этом во флотационной камере 8 происходит чередование зон флотации и отстоя. Экспериментально установлено, что расстояние между электродными блоками должно равняться ширине самих блоков.

Результаты опытов по очистке природных производственных стоков Уфимского моторостроительного производственного объединения приведены в табл. 5. Время обработки воды в электролизере равно 6 мин, в электрофлотаторе – 15 мин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дерягин, Б.В. Микрофлотация [Текст] / Б.В. Дерягин, С.С. Духин, Н.Н. Рулев. – М.: Химия, 1986. – 112 с.
2. Ильин, В.И. Электрофлотационный метод и устройство для удаления нефтепродуктов из сточных вод [Текст] / В.И. Ильин, В.А. Колесников // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2003. – № 10. – С. 10-12.
3. Патент РФ на изобретение № 2325331, МПК C02F 1/40. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод [Текст] / Назаров В.Д., Назаров М.В. – Оpubл. 27.05.2008. Бюл. № 15.
4. Патент РФ на изобретение № 2360869, МПК C02F 1/465. Устройство для электролитической обработки нефтесодержащих вод [Текст] / Назаров В.Д., Назаров М.В., Хабибуллина М.Р. – Оpubл. 10.07.2009. Бюл. № 19.
5. Патент РФ на изобретение № 2340562, МПК C02F 1/465. Способ очистки сточных вод электрохимическими методами [Текст] / Назаров В.Д., Назаров М.В. – Оpubл. 10.12.2008. Бюл. № 34.

© Назаров В.Д., Назаров М.В.,
Хабибуллина М.Р., 2011