

УДК 628.349.087

Флотационная обработка сточных вод лакокрасочного производства

***Бондаренко А. В.**, аспирант
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Экология и промышленная безопасность»*

***Васильева Я. С.**, студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Экология и промышленная безопасность»*

*Научные руководители: Ксенофонтов Б.С., д. т. н., профессор
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
Капитонова С. Н., к. т. н., доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
E9@bmstu.ru*

1. Введение

В настоящее время в связи с подъемом производства, возросла потребность промышленных предприятий в воде для технических нужд, особо остро встал вопрос о необходимости очистки сточных вод для повторного и оборотного водоснабжения, содержащих нефтепродукты, взвешенные и водорастворимые частицы. Из-за многокомпонентности этих загрязнений вопрос очистки решается, как правило, в многоступенчатых установках с использованием биологических и физико-химических методов. Но анализ применяемых методов указал на их высокую стоимость и необходимость использования больших площадей, занимаемых на очистные сооружения. Кроме того, существуют сложные стоки, очистка которых невозможна наиболее распространенными методами.

Одними из перспективных и высокоэффективных методов в области очистки сточных вод являются электрокоагуляционная и электрофлотационная очистки. Позволяющие извлекать нефтепродукты, взвешенные и водорастворимые частицы, эмульсии, ПАВ, что говорит об универсальности применения данных способов во многих областях промышленности.

2. Основы процессов электрокоагуляции и электрофлотации

Очистка промышленных сточных вод методом электрокоагуляции (ЭК) основана на электролизе с применением металлических (стальных или алюминиевых) анодов,

подвергающихся электролитическому растворению. Вследствие растворения стальных анодов вода обогащается гидроксидом железа (II), который под воздействием растворенного в воде кислорода, переходит в гидроксид железа (III). При растворении алюминиевых электродов образуется гидроксид алюминия. В результате осуществляется процесс коагуляции, аналогично обработке воды соответствующими солями алюминия и железа. Эффективность электрокоагуляции зависит от материала электродов, анодной плотности тока, состава и скорости движения обрабатываемой жидкости в межэлектродном пространстве. Серьезной помехой электрокоагуляции является образование на электродах окисных пленок— анодная пассивация. Расход электроэнергии для анодного растворения металла зависит от плотности тока и расстояния между электродами. С уменьшением расстояния расход электроэнергии снижается. Обычно плотность тока принимают до 200—300 А/м², расстояние между электродами 10—20 мм, скорость движения воды между электродами должна быть не менее 0,03—0,05 м/с. Теоретический расход электроэнергии при рекомендуемом напряжении 3—12 В составляет, Вт•ч: при растворении 1 г железа 2,9, при растворении 1 г алюминия 12. Растворение в воде 1 г железа эквивалентно введению в сточную воду 3,58 г сернокислого железа, а растворение 1 г алюминия — 6,33 г сернокислого алюминия. Электрокоагуляционная очистка воды производится в электролизерах в основном с вертикальным расположением электродов, выполняемых чаще всего в виде блока прямоугольных пластин толщиной 5—10 мм. Соединение электродов осуществляется по монополярной схеме. Возможно и соединение их по биполярной и комбинированной схемам. При отсутствии источников постоянного тока питание электролизеров осуществляется выпрямленным током, для чего в составе установки предусматриваются выпускаемые промышленностью выпрямители. С целью обеспечения безопасности работающего персонала на одну электролитическую ячейку не должно подаваться напряжение более 36 В. По характеру потоков воды в электролизерах они могут быть однопоточные, многопоточные и смешанные с горизонтальным или вертикальным направлением движения жидкости. Конструктивные варианты электрокоагуляционных установок различны.

Электрофлотационная обработка является одной из наиболее эффективных при очистке воды от нефтепродуктов, тонкодисперсных частиц, растворенных органических соединений. Наиболее высокая степень очистки сточных вод достигается в электрофлотационных аппаратах, имеющих наряду с флотационной камерой камеру электрокоагуляции. В этом случае сточные воды предварительно подвергаются

воздействию, как электрического поля, так и образующихся при осуществлении процесса электрокоагуляции оксидов металлов, являющихся продуктами растворения анодных электродных пластин. При растворении анода, изготовленного из дюралюминия, образуется гидроокись алюминия в виде хлопьев, сорбирующих частицы загрязнения и одновременно слипающихся с пузырьками водорода и кислорода. [2]

Для повышения эффективности работы существующих электрокоагуляционных и электрофлотационных аппаратов целесообразно комбинирование указанных выше методов в единый аппарат. Причем крайне важно создать оптимальные условия для каждого из процессов таким образом, чтобы наработанная гидроокись в результате электрокоагуляции могла быть использована для интенсификации электрофлотации. [4,5]

4. Исследование электрофлотационного процесса для очистки сточных вод лакокрасочного производства

Для проведения лабораторных исследований была создана лабораторная установка, состоящая из корпуса, электродов и выпрямителя тока, электроды расположены вертикально, пространство между ними заполнено очищаемой жидкостью.

Выпрямитель тока – лабораторный стабилизированный выпрямитель ТЭС 42 НТР 15.10 с выходным напряжением: с 0,1 до 15 V, с выходным током: с 0,05 до 10 А.

При подключении электродов к источнику питания происходит выделение газов на электродах (на аноде – кислород, на катоде - водород). В результате прилипания взвешенных и коллоидных частиц к пузырькам газа водорода и кислорода, происходит формирование флотокомплекса (частичка загрязнения и пузырек газа) и транспортирование его на поверхность – в пенный слой.

Для электрокоагуляции использовались растворимые электроды – из дюралюминия.

Для электрофлотации анод – графит, катод – из нержавеющей стали.

Величину активной реакции среды измеряли с помощью рН – метра марки «рН-150М». Электронный портативный цифровой рН-метр-милливольтметр типа рН-150М предназначен для измерения активности ионов водорода (рН), окислительно-восстановительных потенциалов (Eh) и температуры в водных растворах, основные технические характеристики которого представлены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики рН-150М

Измеряемые показатели	Диапазон измерения	Дискретность	Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности	
			Преобразователя	Прибора
Активность ионов водорода, рН	от –1 до +14	0,01	$\pm 0,02$	$\pm 0,05$
Окислительно-восстановительный потенциал, мВ	от -1999 до +1999	1	± 3	-
Температура анализируемой среды, °С	от –10 до +100	1	± 2	± 2

Процедура нефелометрии (измерение мутности) производится на турбидиметре НАСН 2100N, который разработан для измерения мутности в диапазоне от 0 до 4000 NTU (нефелометрические единицы мутности).

Лабораторный турбидиметр модели 2100N представляет собой нефелометр, позволяющий проводить измерения как в режиме нормирования, так и без нормирования. В оптическую систему входит лампа накаливания с вольфрамовой нитью, линзы и диафрагмы для фокусировки света, детекторы прошедшего света, прямо-рассеянного (45°) и рассеянного под прямым углом (90°). Прибор позволяет проводить измерения мутности до 40 NTU, осуществляемые с использованием только детектора на 90° или всех детекторов (режим нормировки).

Результаты измерений мутности представлены в единицах NTU. Для малоцентрированных растворов можно пользоваться следующей зависимостью для перевода: 2,6 NTU (по формазину) - 1,5 мг/л (по коалину), т.е. 1 NTU – 0,58 мг/л.

Погрешность прибора: $\pm 2 \%$ от значения + 0,01 NTU от 0 до 1000 NTU; $\pm 5 \%$ от значения от 1000 до 4000 NTU при включенном нормировании; $\pm 2 \%$ от значения + 0,01 NTU от 0 до 40 NTU при выключенном нормировании.

В качестве модельного стока использовалась сточная вода лакокрасочного производства г. Воскресенска (Московской области). Качественный состав и требования к очистке такой воды представлены в табл. 2.

Качественный состав сточных вод лакокрасочного производства

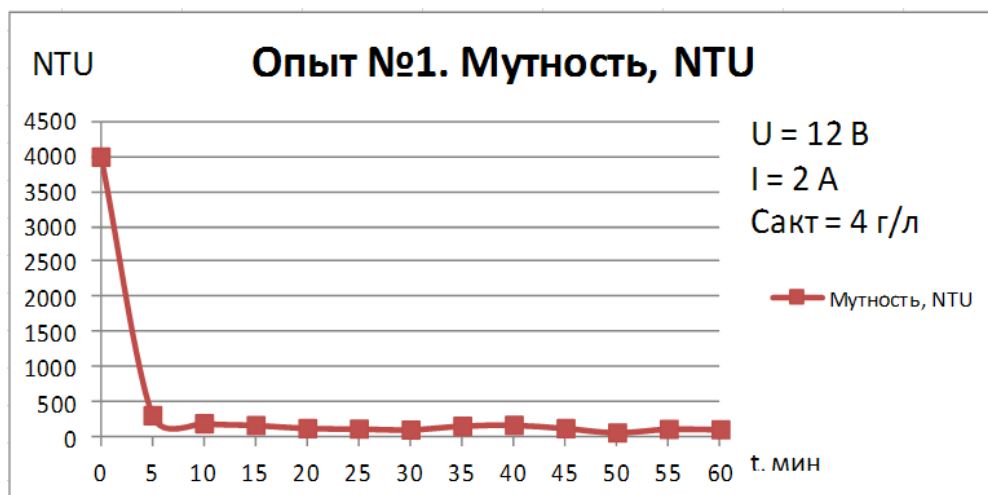
Показатели	Исходная вода	Очищенная вода
Цветность, град	-	10-20
Мутность, мг/л	3977	Не более 150
рН, единицы	8,2	6-9
Запах, баллы	-	1-2
Жесткость общая, °Ж	4,2	3-8
Нефтепродукты (суммарно), мг/л	0,5	Не более 0,05
Железо, мг/л	0,28	Не более 0,3
Фенольный индекс, мг/л	-	Не более 0,1
Общая минерализация (сухой остаток), мг/л	-	Не более 1000

Исследование способа очистки сточных вод лакокрасочного производства методом электрокоагуляции.

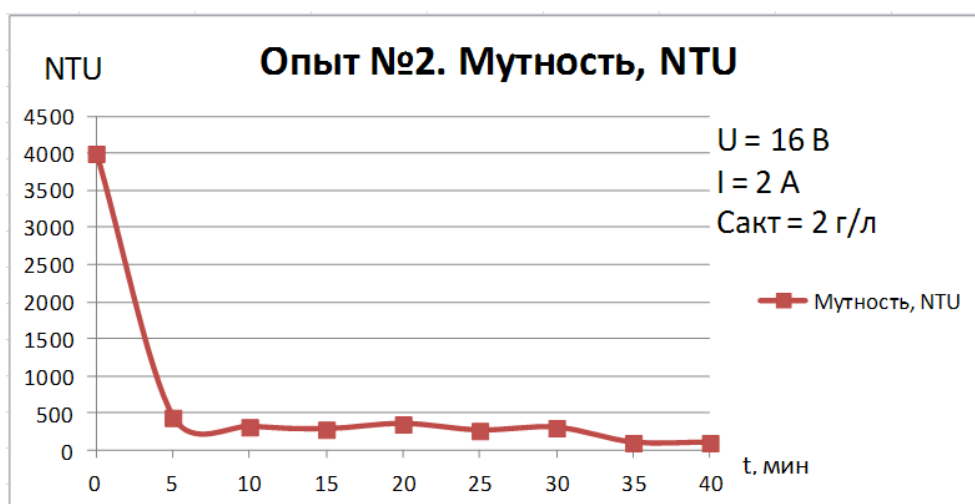
В качестве основных параметров, влияющих на эффективность очистки, исследовались: доза активатора, сила тока и время протекания процесса.

1. Влияние количества активатора на степень ЭК очистки

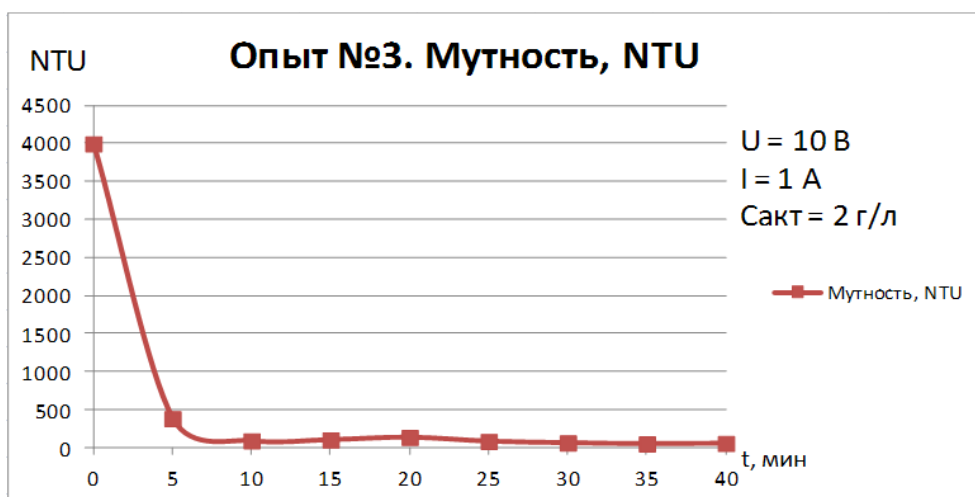
Проведенные исследования (рис. 1.) показали, что при добавлении активатора (NaCl) возрастает степень очистки сточных вод от продуктов лакокрасочного производства в связи с увеличением электропроводности в растворе. Однако, это явление полезно в определенном диапазоне значений количества активатора, т.к. с превышением концентрации соли электропроводность раствора становится слишком велика и появляется эффект разрушения уже сформированных флотокомплексов, а следовательно, снижается эффективность очистки. Таким образом видно, что оптимальная доза активатора в данном случае составляет 2 г/л при времени ЭК 15 мин. (рис. 1. б, в.). Уменьшение дозы активатора до 1 г/л приводит к увеличению времени протекания процесса не менее 20 мин. (рис. 1. г.). Увеличение доза активатора до 4г/л также увеличивает время до 20-25 мин. (рис. 1. а.).



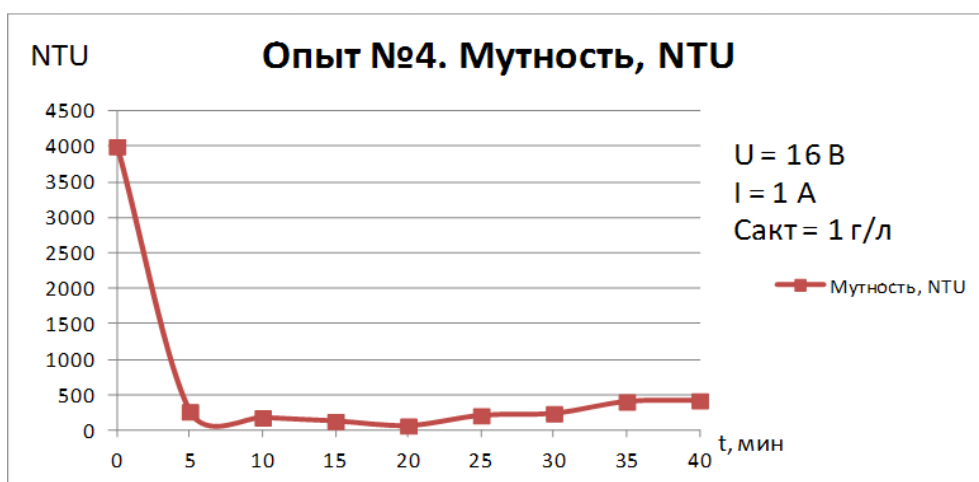
а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Влияния количества активатора на показатель мутности для ЭК

2. Влияние силы тока на степень ЭК очистки

Для определенного ранее режима работы с дозой активатора $C_{акт} = 2$ г/л был исследован режим электрокоагуляционной обработки воды по силе тока. Из диаграммы рис. 2 видно, что при $I = 1$ А степень очистки практически в 2 раза выше, чем при $I = 2$ А.

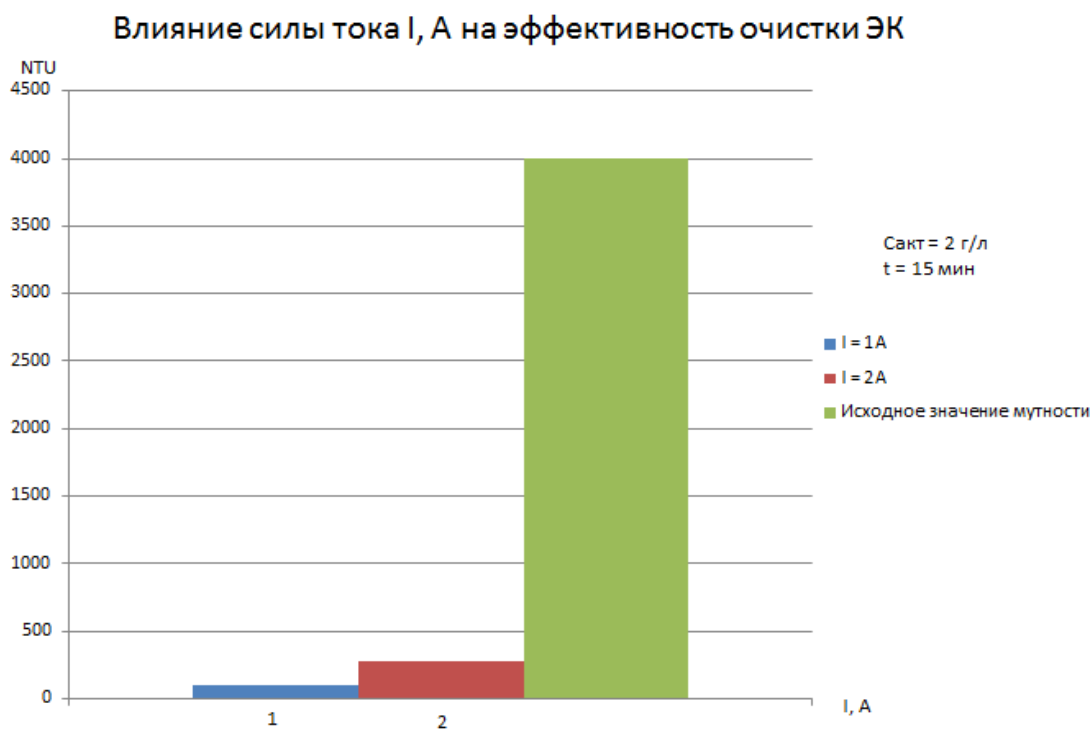


Рис. 2. Диаграмма влияния силы тока на степень очистки для ЭК

3. Зависимость эффективности ЭК от времени протекания процесса

Кривые, изображенные на рис. 3, представляют собой эффективности очистки в зависимости от времени протекания процесса при различных входных параметрах - дозы

активатора и силы тока. Ломаный вид кривых хорошо отражает нестабильность процесса, а именно наработку гидроокиси Al в большом количестве и образование тем самым вторичных загрязнений, что соответствующим образом отражается на эффективности очистки. Поэтому и дальнейшее протекание процесса становится бесполезным.

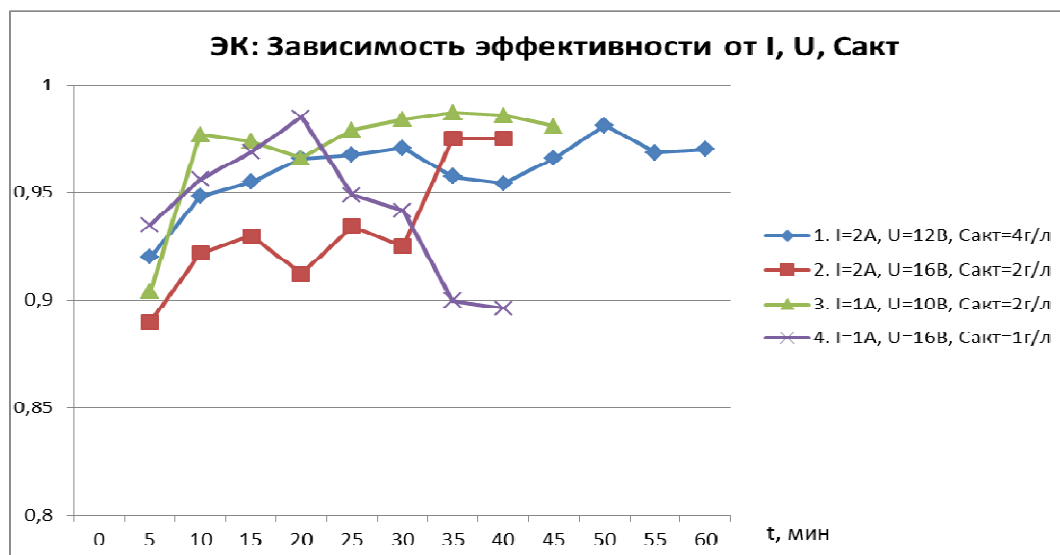


Рис. 3. Зависимость эффективности ЭК от основных параметров процесса I, U, C_{акт}

Таким образом, одним из важнейших параметров процесса ЭК является время очистки составляющее 15 мин (рис. 3), т.к. именно оно наибольшим образом влияет на экономическую составляющую. В целях снижения энергозатрат и обеспечения наивысшей эффективности процесса ЭК установлены оптимальные параметры процесса: напряжение U=10 В, сила тока I=1 А, доза активатора C_{акт} =2 мг/л, время 15 мин, эффективность – 97,4 %.

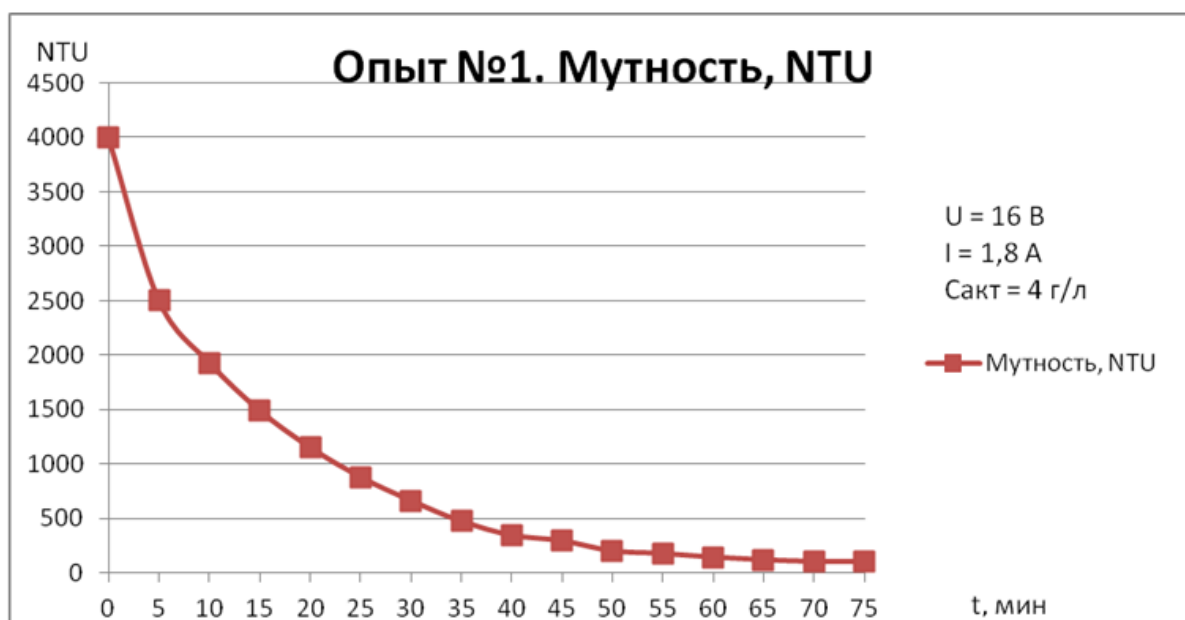
Исследование способа очистки сточных вод методом электрофлотации и определение оптимальных параметров

Исследования основных параметров электрофлотационного процесса сточных вод лакокрасочного производства проводились на лабораторной установке, аналогично процессу электрокоагуляции. В качестве основных параметров, влияющих на эффективность очистки, исследовались: доза активатора, сила тока, величина pH и время протекания процесса.

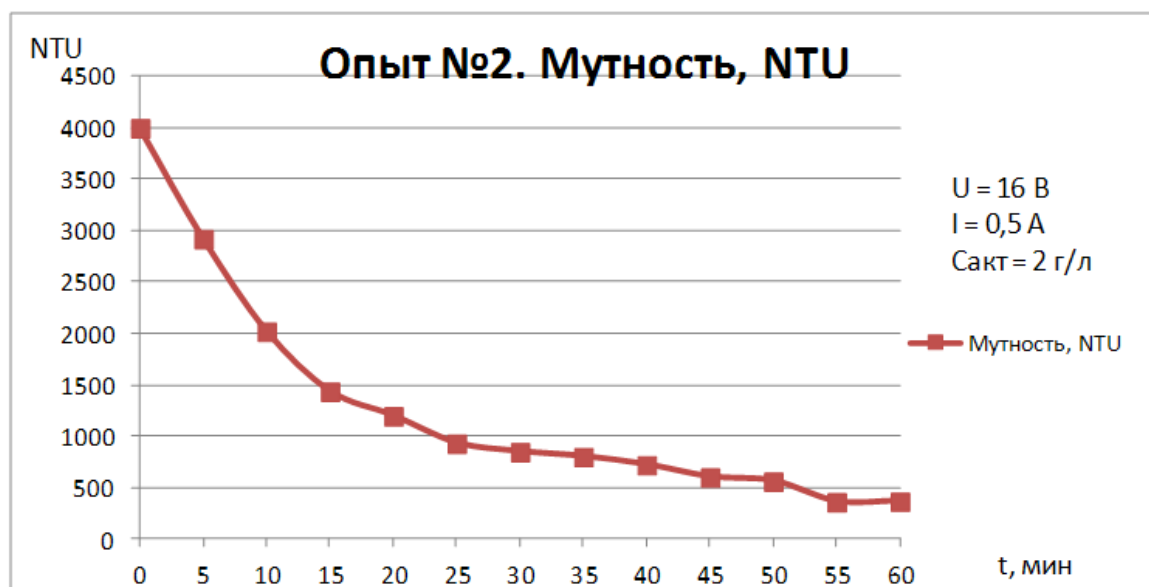
1. Влияние количества активатора на степень ЭФ очистки

Аналогично электрокоагуляционной очистке обстоит дело в процессе очистки методом электрофлотации: с увеличением количества активатора увеличивается степень очистки (рис. 3).

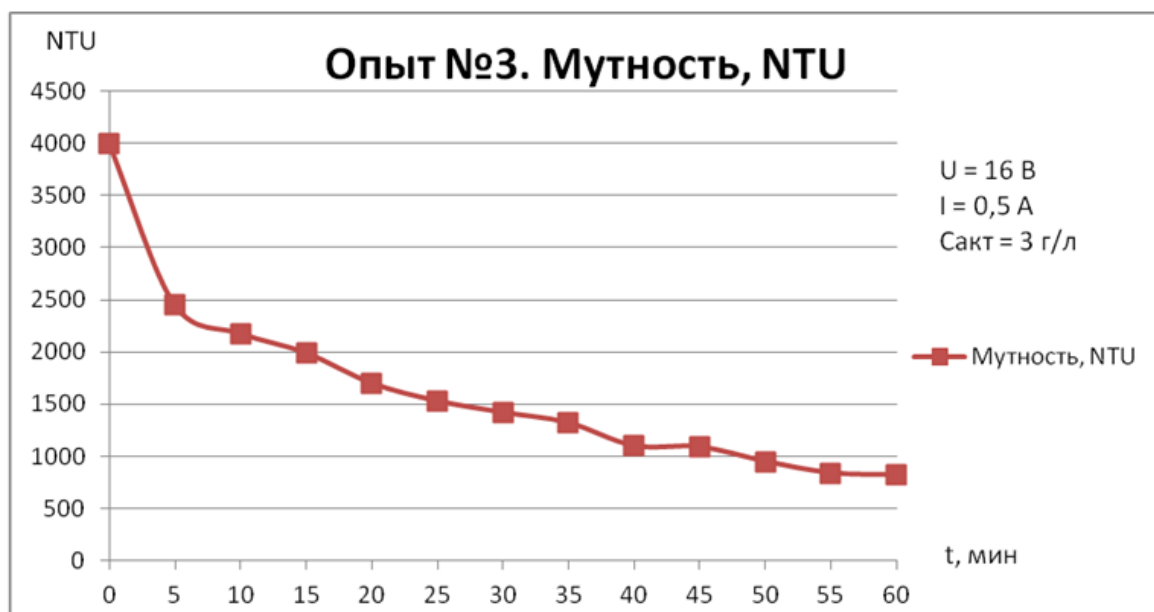
В отличие от электрокоагуляционной очистки процесс электрофлотации идет более медленно. Поэтому количество активатора в данном случае будет также зависеть от требований к степени очистки воды. Для модельного стока оптимальной будет доза активатора 4 г/л, при этом время флотации будет составлять 40 мин. (рис. 4. а.), тогда как при 3-2 г/л время увеличивается до 45-50 мин. соответственно (рис. 4. б-в).



а)



б)



в)

Рис. 4. Диаграммы влияния количества активатора на показатель мутности для ЭФ

2. Влияние силы тока на степень ЭФ очистки

На степень очистки в камере электрофлотации сила тока влияет аналогично камере электрокоагуляции: меньшей величине силы тока соответствует большая эффективность (рис. 5), что соответствует $I = 0,5 \text{ А}$.

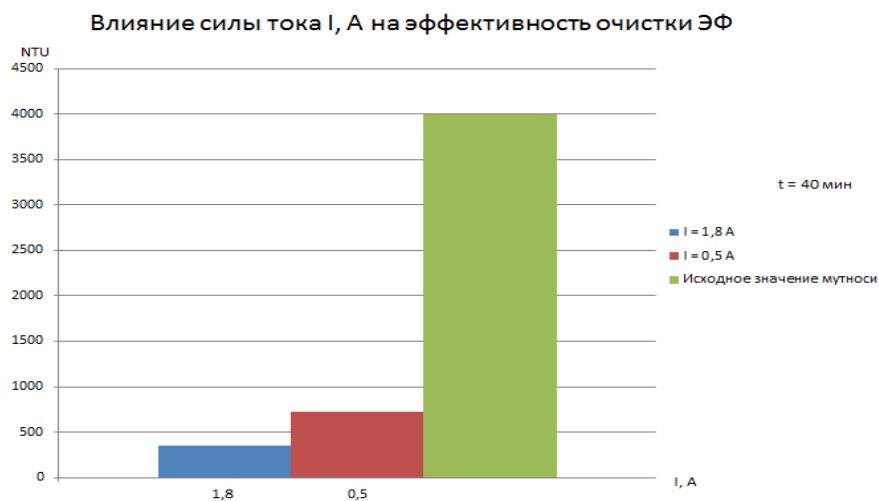


Рис. 5. Диаграмма влияния силы тока на степень очистки для ЭФ

Зависимость эффективности ЭФ от входных параметров

Кривые на рис.6 характеризуют процесс электрофлотации как последовательный и стабильный, но достаточно длительный. С течением времени при любых входных параметрах эффективность очистки увеличивается.

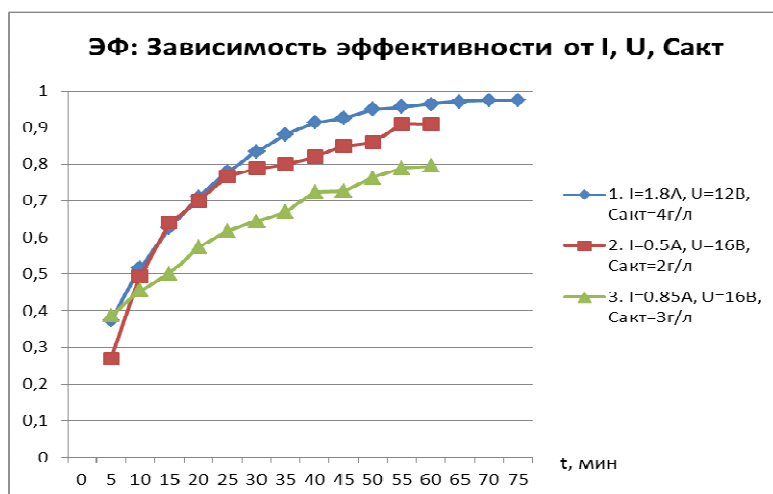


Рис. 6. Зависимость эффективности ЭФ от основных параметров процесса I, U, Сакт

Как и в случае с электрокоагуляцией, при электрофлотации одним из важнейших параметров процесса является время протекания процесса, которое составляет 40 мин (рис. 4,6), т.к. именно оно наибольшим образом влияет габариты аппарата и на экономическую составляющую. В целях снижения энергозатрат и обеспечения наивысшей эффективности процесса ЭФ установлены оптимальные параметры процесса: напряжение $U = 12$ В; сила тока $I = 1,8$ А; доза активатора Сакт = 4 мг/л; время 40 мин.; эффективность 91,3 %.

Влияние pH среды на степень извлечения загрязнений при электрофлотации и электрокоагуляции сточных вод лакокрасочного производства

На рис. 7 представлена зависимость эффективности процесса извлечения загрязнений от pH среды. Оптимально для ЭК pH=6-8,5, уменьшение значения pH приводит к снижению эффективности. Для ЭФ pH=5-8,5.

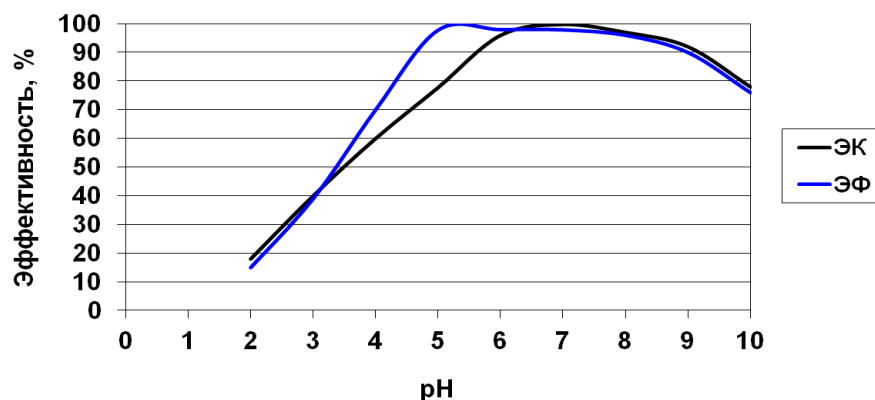


Рис. 7. Влияние pH среды на эффективность ЭК и ЭФ

Данные параметры позволили более точно и полно исследовать комбинированный процесс очистки сточных вод электрофлотацией с предварительной очисткой электрокоагуляцией. На основании полученных оптимальных параметров был разработан и запатентован комбинированный электрофлотационный аппарат, который включает корпус 1, на внешней стороне которого установлены патрубок 2 для подачи части осветляемой, патрубок 3 для подачи основной части осветляемой воды, пенный желоб 4 с патрубком 5 для отвода пенного продукта, патрубок 8 для вывода осветленной жидкости, а внутри корпуса полупогружные перегородки 6 и 13, устройство для регулирования уровня осветляемой жидкости с подводящим шлангом (трубопроводом 9), основная пара электродов 11 (анод) и 12 (катод) и дополнительная пара электродов 16, подключенная к источнику постоянного или переменного тока. Для удержания корпуса 1 в горизонтальном положении используются специальные опоры 15.

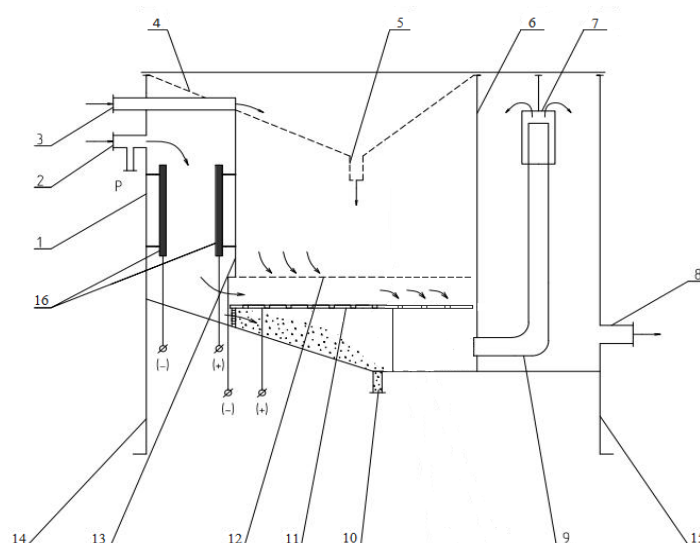


Рис. 8. Схема электрофлотационного аппарата

Принцип работы электрофлотационного аппарата состоит в следующем: половина исходной сточной воды подается для очистки через патрубок 3, а другая половина исходной сточной воды через патрубок 2 и далее обрабатывается в зоне воздействия постоянного или переменного электрического поля в пространстве между электродами 16. Далее основной и вспомогательный потоки смешиваются в зоне расположения электродов 11 (анод) и 12 (катод), подключенных к источнику постоянного тока. В этой зоне происходит образование флотокомплексов частицы загрязнений - пузырьки электролизных газов (кислород и водород) и их отделение от осветляемой жидкости путем их всплытия и отведения через пенный желоб 4 и далее через патрубок 5. [3]

В моделях, предложенных ранее, поток загрязненной воды проходит последовательно сначала через камеру электрокоагуляции, где обрабатывается весь, а затем переходит в камеру электрофлотации. В данном аппарате поток разбивается и только часть проходит через камеру электрокоагуляции, где нарабатывается достаточное количество гидроокиси, переходящей в камеру электрофлотации и смешивающейся с основным потоком в камере электрофлотации. Так как гидроокись обладает большей сорбционной эффективностью по сравнению с известными коагулянтами, используемыми в реагентом хозяйстве, в результате образуются прочные флотокомплексы, которые флоатируются в пенный слой. Образуется пена устойчивая к разрушению.[1,5]

Эффективность очистки воды в данном электрофлотационном аппарате составляет 93-99 % при соответственно удельных затратах электроэнергии 2,1 – 4,9.

Список литературы

1. Ксенофонтов Б.С., Капитонова С.Н., Бондаренко А.В. Электрофлотационная обработка сточных вод микробиологических производств // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2011. № 10. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/223619.html> (дата обращения 10.09.2011).
2. Ксенофонтов Б.С. Флотационная обработка воды, отходов и почвы. М.: Новые технологии, 2010. 272 с.
3. Ксенофонтов Б.С. Электрофлотационный аппарат: пат. 111848 Российская Федерация. 2 с.
4. Ксенофонтов Б.С., Капитонова С.Н., Бондаренко А.В. Электрофлотационная очистка сточных вод микробиологических производств // Водоснабжение и инженерные системы. Сантехника. № 1. 2012. С. 52-56.
5. Ксенофонтов Б.С., Капитонова С.Н., Бондаренко А.В. Ловушка для микробов // Вода

Magazine. № 7 (59). 2012. С. 22-23

6. Ксенофонов Б.С., Капитонова С.Н., Бондаренко А.В. Электрофлотационная очистка сточных вод биотехнологических производств // Водочистка. № 8. 2013. С. 19-24.