

Введение Известно, что сточные воды производства химических волокон содержат соединения тяжелых металлов, например, ионов цинка и меди и очистка сточных вод от соединений тяжелых металлов является важной практической задачей [1]. Для этого используются многочисленные методы [2-4]. Большие перспективы для этой цели имеет использование метода гальванокоагуляции, который применяется для очистки сточных вод гальванических производств. Этот метод считается экономичным, поскольку не требует дорогостоящих реактивов, характеризуется малым потреблением электроэнергии. Коагуляторы предназначены для очистки сточных, продувочных и оборотных вод от ионов металлов, органических веществ и других примесей. Коагуляторы предназначены для работы на кислых, слабокислых и нейтральных или щелочных средах. Принцип работы следующий: во внутрь корпуса подается смесь либо смесь железного скрапа (например, стружки) с коксом в весовом отношении 4:1, либо алюминиевого скрапа с коксом, либо железного и медного скрапа в том же соотношении. Исходная очищаемая среда (раствор) непрерывно подается в зону загрузки скрапа, откуда поступает в рабочую зону обычно цилиндрического корпуса коагулятора, вращение которого с определенной скоростью, обеспечивает перемешивание скрапа и переменный контакт его с раствором и кислородом воздуха. В процессе контакта смеси железного и медного скрапа или железного скрапа и кокса образуется гальваническая пара, в результате работы которой идет интенсивное растворение железа (наработка реагента) без подачи электроэнергии от внешнего источника. Образование тонкодисперсного ферритного осадка происходит непосредственно в очищаемой среде (растворе), из которого удаляются соответствующие загрязняющие вещества, чем обеспечивается высокая степень очистки его от различных примесей. После этого раствор направляется в отстойник, где идет процесс естественного осветления ферритных осадков. В ранних публикациях нами рассматривались конструкции гальванокоагуляторов [5,6]. В настоящей работе мы приводим результаты исследования очистки сточных вод гальванических производств на примере никель-содержащих сточных вод. Экспериментальная часть Эксперименты проводились при помощи следующей лабораторной установки, изображенной на рис.1. Рис. 1 - Пульсационный гальванокоагулятор. Устройство состоит из корпуса 1, имеющего U-образное днище, полых колонн 2 и 3, снабженных крышками 4 и 5, патрубками подачи давления 6, 7 Устройство для пульсационной гальванокоагуляции работает следующим образом. В полость корпуса 1 загружается твердая фаза, представляющая собой смесь железной стружки 8 и угля 9. Через патрубок 4 подается очищаемая жидкость 10. Через патрубки 6 и 7 попеременно подается давление при помощи резиновых груш. Происходит интенсивное перемешивание твердой фазы с очищаемой жидкостью. В качестве сточной воды мы использовали модельные растворы CuSO_4 и NiSO_4 . После проведения эксперимента мы определяли концентрацию

ионов никеля с помощью диметилглиоксима [7], концентрацию ионов меди – фотометрически, по поглощению непосредственно ионов меди при 700 нм. Эксперименты с медь-содержащими растворами. Для наблюдения за изменением концентрации ионов меди в модельном растворе сточных вод после обработки его в смеси стальной стружки и угля были проведены следующие эксперименты. 1 М раствор меди обрабатывали в смеси стружки и угля, взятых в массовом соотношении 1:1, 2:1, 3:1, 4:1, 5:1 где доля угля весила 2 г.. Эксперименты с никель-содержащими растворами. Для наблюдения за изменением концентрации ионов никеля в растворе, после нахождения его в смеси стружки и угля, были проведены следующие эксперименты: 1М, 0,5М, 0,25М и 0,125М раствор никеля обрабатывали в смеси железной стружки и угля, взятых в массовом соотношении 4:1, соответственно. В качестве контроля проводили аналогичный эксперимент, но в качестве установки использовали обычный стакан, содержимое которого регулярно перемешивали. В результате опыта мы получали сильноокрашенный раствор без осадка, и определение никеля в экспериментальных условиях было осложнено поглощением света раствора солей железа. Поэтому растворы после гальванокоагуляции мы подщелачивали до pH=10. Это делалось для того, чтобы железо выпало в осадок и, осаждаясь, потянуло никель за собой. После добавления щелочи (NaOH) (для ускорения процесса осаждения) получали густой осадок. Затем данный раствор пропускали через фильтровальную бумагу и уже в отфильтрованный раствор добавляли диметилглиоксим и оставляли на 5 минут для развития окраски. Затем измеряли оптическую плотность раствора при длине волны 540 нм и по этим данным при помощи ранее полученного градуировочного графика определяли остаточное содержание никеля в растворе после гальванокоагуляции. В ходе эксперимента получены следующие результаты. Результаты и обсуждение Ранее пульсации использовались для проведения экстракции, вследствие того, что пульсации увеличивают тепло и массообмен [8]. Использование пульсационной гальванокоагуляции позволяет с большей скоростью и эффективностью осуществлять очистку никель-содержащих сточных вод по сравнению с системой обычного перемешивания. Мы решили проверить эффективность использования пульсаций для очистки никель-содержащих сточных вод. В ходе эксперимента получены следующие результаты. В первом опыте мы проводили гальванокоагуляционную обработку раствора CuSO₄. В реактор перемешивания, представляющем собой стакан с мешалкой добавлялось 100 мл. раствора медного купороса, добавлялась смесь угля и стальной стружки. По представленным результатам в таблице 1 видно, что наилучшим образом очистка воды от ионов меди происходит при массовом соотношении железной стружки и угля 4:1, соответственно, наихудшим образом очистка проходит при соотношении железа и угля 1:1. Это соотношение 4:1 мы использовали в дальнейшем. Таблица 1 - Концентрации остаточного содержания

меди при начальной концентрации раствора 1 М CuSO_4 Время, ч Отношение
железо-уголь 1:1 2:1 3:1 4::1 5:1 1 0,15 0,13 0,12 0,078 0,1 2 0,2 0,12 0,06 0,048
0,06 3 0,045 0,03 0,028 0,021 0,0156 4 0,006 0,0057 0,0036 0,0032 0,003 В
следующих опытах было показано, что остаточная концентрация ионов никеля
уменьшается быстрее при проведении опыта в пульсационной установке по
сравнению с реактором перемешивания. При начальной концентрации
модельного никель-содержащего раствора с начальной концентрацией 0,5 М
эффективность очистки составила 94,1% и 96,5%, соответственно, за полчаса.
Последующие эксперименты мы проводили с пульсационным
гальванокоагулятором. На рис. 2. показаны кинетические кривые изменения
остаточной концентрации ионов никеля при проведении гальванокоагуляции с
несколькими начальными концентрациями соединений никеля. Рис. 2 -
Изменения остаточной концентрации ионов Ni^{2+} во времени. Ромбы – 1 М,
квадраты – 0,5 М, треугольники – 0,25 М На рис. 2 показаны кривые изменения во
времени остаточной концентрации ионов Ni^{2+} при различных начальных
концентрациях NiSO_4 . Ось ординат представляет собой десятичный логарифм
концентрации ионов никеля. При наличии реакции первого порядка зависимость
имела бы вид прямой. И, действительно, при начальной концентрации 1 М NiSO_4 ,
зависимость довольно близка к прямой, однако с уменьшением начальной
концентрации зависимость имеет начальную быструю фазу с последующим
замедлением, что позволяет говорить о том, что порядок реакции в
действительности выше, чем первый. В таблице 2 представлены сравнительные
данные по остаточной концентрации ионов никеля. Через 15 минут процесса
гальванокоагуляции, как следует из таблицы, остаточная концентрация
составляла 3,8% при начальной концентрации 1 М NiSO_4 ,, соответственно для
0,5 М, 0,25 М, 0,125 М эта величина составляла 1,4, 0,9 и 0,5% . средняя ошибка
измерений составляла от 2 до 7%. Таблица 2 - Статистическая обработка
результатов

Параметры	Начальная концентрация 1 М	0,5 М	0,25 М	0,125 М
Средняя концентрация через 15 минут; $\text{C}_{\text{ср}}$, М	0,038	0,029	0,00236	0,0006
Среднеквадратичное отклонение концентрации, σ	0,00085	0,00108	0,0000946	0,000045
Относительное отклонение, $\sigma / \text{C}_{\text{ср}}$, %	2,25	3,66	4	7

Таким образом, в результате проведения экспериментов было показано, что пульсационная
гальванокоагуляция является эффективным способом очистки сточных вод от
ионов тяжелых металлов. При этом величина очистки может достигать 98% и
время обработки в течение получаса является достаточным.