

УДК 541.13

**РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОФЛОТАЦИОННЫХ МЕТОДОВ
ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ПРИМЕСЕЙ МАСЛА И МАСЛОПРОДУКТОВ**

**DEVELOPMENT OF ELECTROFLOTATION METHODS
FOR WASTE WATER TREATMENT
FROM IMPURITY OF OIL AND OIL PRODUCTS**

*Г.М. ИЗТЛЕУОВ, А.А. АБДУОВА, Л.М. САТАЕВА, Б.У. БАЙБАТЫРОВА,
Г.Д. КЕНЖАЛИЕВА, А.А. САДЕНОВА*

*G.M. IZTLEUOV, A.A. ABDUOVA, L.M. SATAYEVA, B.U. BAYBATYROVA,
G.D. KENZHALIYEVA, A.A. SADENOVA*

(Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, Республика Казахстан)

(M.Auezov South-Kazakhstan State University, Republic of Kazakhstan)

E-mail: aisulu.abduova@mail.ru

На основе экспериментальных результатов была разработана новая технология очистки сточных вод от масла и примесей масла электрофлотационным методом. Создана конструкция аппарата для электрофлотационной очистки. Конструкции аппаратов для электрофлотационной очистки достаточно просты. В результате исследования определены оп-

тимальные параметры очистки воды от примесей масла в данном предложенном электролизере: плотность тока на титане 150 А/м², продолжительность электролиза 40 мин. Предложена принципиально новая схема очистки воды от примесей масла.

Based on the experimental results, a new technology for the treatment of wastewater from oil and oil impurities by the electroflotation method was developed. Designed apparatus for electroflotation cleaning. Designs of devices for electroflotation, cleaning are quite simple. As a result of the study, the optimal parameters for water purification from oil impurities in this proposed electrolyzer were determined: current density on titanium 150 A/m², electrolysis duration 40 min. A schematic diagram of oil purification from water impurities is proposed.

Ключевые слова: масло и маслопродукты, электрофлотатор, электролиз, реактор, титан, степень очистки, сточные воды, катод, анод.

Keywords: oil and oil products, electroflotator, electrolysis, reactor, titanium, degree of purification, waste water, cathode, anode.

Примеси масла являются наиболее распространенными загрязняющими веществами. Большое количество этих загрязнений содержится в стоках легкой и пищевой промышленности. При очистке сточных вод возникают определенные трудности, связанные с выделением из них эмульгированной части масла, которые образуют с водой нестабилизированные, слабостабилизированные и сильностабилизированные эмульсии [1], [2].

Электрофлотация является одним из наиболее эффективных способов очистки воды от масла и примесей масла, она осуществляется в аппаратах с нерастворимыми или растворимыми электродами.

Эксперименты проводили с помощью специальной электрохимической ячейки (рис. 1). Конструкция аппарата для электрофлотационной очистки достаточно проста. Electrodes могут выполняться в виде пластин, располагаемых на дне аппарата горизонтально или вертикально, занимая практически всю площадь днища с целью предотвращения циркуляционных потоков, препятствующих флотированию загрязнений. Электрофлотатор состоит из следующих компонентов: 1 – карман для сбора пены, 2 – пеногонное устройство, 3 – погруженная перегородка, 4, 5 – отводящий и подающий трубопровод, 6 – катод, 7 – анод.

Количество и концентрацию примесей масла в воде определяли с помощью фотокolorиметра, до очистки электрофлотационным методом и после.

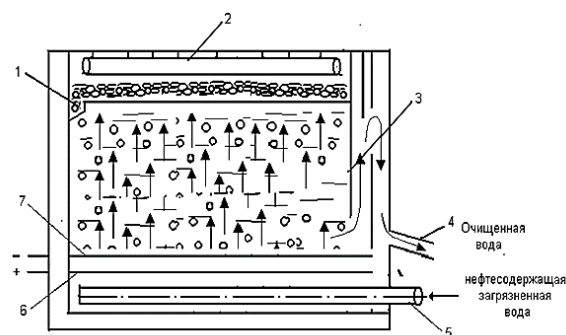


Рис. 1

Электрофлотация широко используется в практике очистки загрязненных жидкостей, наибольшее применение она находит в технологии обработки сточных вод. Еще в 1951 г. процесс электрофлотации использовали для очистки сточных вод в г. Горьком. Исследованиями, проведенными Н. В. Политковской, было установлено, что по эффективности этот метод равноценен обработке городских сточных вод в аэротенках на неполную очистку, экономичнее и проще в эксплуатации, чем биохимические способы аэрации или биофльтрации [2...5].

В настоящее время актуальной проблемой является разработка эффективных приемов безреагентной интенсификации электрофлотационной очистки масло- и масло-содержащих вод [4...7]. Получены положительные результаты при очистке этих вод.

Высокий эффект может быть достигнут при использовании комбинированной системы титановых и графитовых электродов. Концентрация примесей масла в этом случае снижается с 350 до 10 мг/л (табл. 1, 2).

Т а б л и ц а 1

№ п/п	Плотность тока на титане, А/м ²	Продолжительность электролиза, мин	Концентрация примесей масла в сточной воде до очистки, мг/л	Концентрация примесей масла в сточной воде после очистки, мг/л	Степень очистки, %
1	25	10	350	110	69,6
2	50	10	350	82	77,6
3	100	10	350	50	85,8
4	150	10	350	38	89,2
5	200	10	350	38	89,2

В табл. 1 показано влияние плотности тока на титане на степень очистки воды от примесей масла. Значение плотности тока изменялось 25...200 А/м², при этом степень

очистки воды от примесей масла увеличилась: 69,6...89,2%, в зависимости от соле-содержания расход электроэнергии составляет 0,2...1,2 кВт-ч/м³.

Т а б л и ц а 2

№ п/п	Плотность тока, А/м ²	Продолжительность электролиза, мин	Концентрация примесей масла в сточной воде до очистки, мг/л	Концентрация примесей масла в сточной воде после очистки, мг/л	Степень очистки, %
1	150	10	350	38	89,2
2	150	20	350	25	93,9
3	150	30	350	16	96,5
4	150	40	350	10	99,8
5	150	50	350	10	99,8
6	150	60	350	10	99,8

В табл. 2 показано влияние продолжительности электролиза на степень очистки воды от примесей масла. Значение продолжительности электролиза изменялось 10...60 мин, при этом степень очистки воды от примесей масла увеличилось 89,2...99,8%.

Применение нерастворимых электродов для очистки нестабилизированных эмульсий предпочтительнее, несмотря на рост при этом энергозатрат. Увеличение срока службы электродов, уменьшение объема пены и упрощение технологии ее обработки компенсируют дополнительный расход электроэнергии. Испытания установки с такими электролизерами выявили некоторые особенности очистки воды от примесей масла. Так, эффективность очистки во флоторазделителе зависит преимущественно от дисперсности и концентрации частиц примесей масла. Эффект извлечения растет

при увеличении их крупности и количества без изменения параметров очистки, остаточная концентрация примесей масла при этом составляет 1...5 мг/л.

Кроме электрических параметров на степень извлечения масла и примесей масла большое влияние оказывают аппаратное оформление и гидравлические параметры процесса электрофлотации. Так, например, предложенный фирмой Форд Моторс электрофлотатор с противоточным движением воды и газовых пузырьков, а также с вращающимся подающим и сборным устройством позволяет более равномерно распределять воду в объеме аппарата и повысить эффективность очистки.

На рис. 1 показано влияние плотности тока на титане на степень очистки воды от примесей масла.

На рис. 3 изображено влияние продолжительности процесса на степень очистки воды от примесей масла.

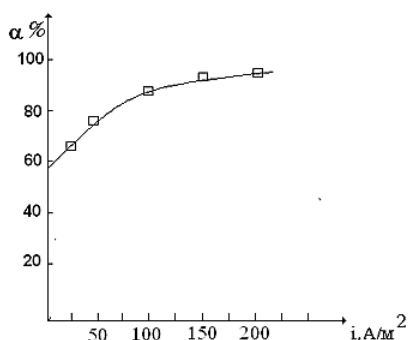


Рис. 2

При использовании нерастворимых электродов эффективность флотации зависит от крупности извлекаемых капель. Например, если степень извлечения частиц диаметром 18 мкм составляет 62,5%, то диаметром 10 мкм – 10...23,3%. Частицы примеси масла диаметром 5 мкм электрофлотацией практически не извлекаются, а диаметром более 22 мкм удаляются достаточно эффективно.

Физико-химические процессы, имеющие место в электрофлотационных аппаратах очистки воды, включают в себя электролитическую генерацию газовых пузырьков, адгезию газовых пузырьков и частиц загрязнений, транспортирование образовавшихся агрегатов "пузырек газа – частица загрязнений" на поверхность обрабатываемой жидкости.

Важной и часто определяющей стадией электрофлотационного процесса является адгезия газовых пузырьков и частиц загрязнений, которая происходит на молекулярном уровне. Сближение пузырька и частицы осуществляется под действием внешних гидродинамических сил, а когда расстояние между ними уменьшается до 10^{-6} мм, начинают действовать молекулярные силы. При этом акт прилипания частицы к пузырьку сопровождается резким уменьшением поверхностной энергии пограничных слоев и возникновением сил, стремящихся уменьшить поверхность смачивания.

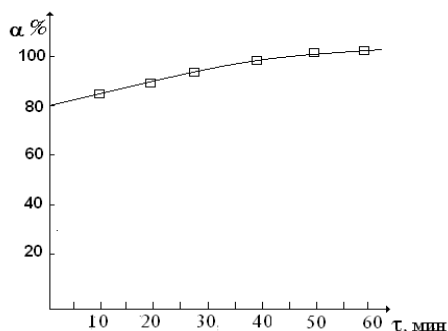


Рис. 3

Процесс флотации протекает тем успешнее, чем больше общая поверхность газовых пузырьков и чем больше площадь контакта их с флотируемыми частицами. В системах с одинаковой степенью газонаполнения жидкости суммарная поверхность более мелких пузырьков будет больше, а расстояние между частицами и пузырьками меньше, что повышает вероятность их столкновения.

Основную роль в процессе электрофлотации выполняют пузырьки водорода, выделяющиеся на катоде. При изучении механизма и кинетики катодного выделения водорода было показано, что размер и интенсивность образования пузырьков водорода зависят от состава и температуры электролита, поверхностного натяжения на границе раздела фаз "электрод – раствор", материала электродов, их формы и шероховатости поверхности, плотности тока. Изменяя перечисленные параметры, можно регулировать размер и интенсивность выделения пузырьков газов при электролизе, то есть корректировать в зависимости от характера загрязнений технологический процесс очистки воды.

Размер пузырьков газа, выделяющихся на электродах, зависит от соотношения сил, действующих на пузырьки в момент их образования и роста: поверхностного натяжения и гидростатического. Первая тем более прочно удерживает пузырьки на электроде, чем больше периметр, по которому пузырек крепится к поверхности, вторая

пропорциональна в основном объему пузырька.

Фундаментальные исследования, проведенные Б. Н. Кабановым и А. Н. Фрумкиным, показали, что размеры и форму пузырьков, выделяющихся на электродах, можно однозначно определять краевым углом смачивания, характеризующим величину поверхностного натяжения на трехфазной границе "электрод – раствор – газ" и определяющим условие равновесия поверхностных сил взаимодействующих фаз.

Отрыв пузырька от поверхности электрода происходит тогда, когда сила гидростатического поднятия превышает удерживающую силу поверхностного натяжения. Следовательно, равновесие пузырька определяется действием только капиллярных сил и сил тяжести.

Величина поверхностного натяжения зависит от потенциала электрода и корректируется максимумом на электрокапиллярной кривой вблизи точки нулевого заряда электрода. Размер пузырьков в момент их отрыва от электрода зависит от величины краевого угла (рис. 4). Кроме того, на кинетику роста и отрыва пузырьков водорода оказывает влияние электрическое поле. За счет избытка ионов OH^- в прикатодном слое пузырьки водорода приобретают отрицательный заряд, что обуславливает их отталкивание от поверхности электрода. В местах значительных выступов на поверхности электрода наблюдается неравномерность электрического поля и большая его напряженность, что обеспечивает быстрый рост и отрыв мелких пузырьков. Чем выше напряженность поля и величина заряда, тем больше пондеромоторные силы, отрывающие пузырек от электрода, и тем мельче пузырьки. Этим объясняется также влияние плотности тока на величину пузырьков.

Влияние поверхности электрода и его кривизны на количество и размер образующихся пузырьков электролитического водорода на катодах из проволоки изучено Б.М. Матовым. Установлено, что величина отрывного диаметра пузырька оказывает существенное влияние на эффективность электрофлотационного способа очистки

жидкостей. Выявлено также, что при повышении степени дисперсности пузырьков, то есть с уменьшением, растет эффективность электрофлотации взвешенных частиц органического происхождения. Степень дисперсности пузырьков зависит в свою очередь от параметров проволочного катода: материала и кривизны поверхности, величины, обратной его радиусу.

Аналогичные данные получены также в ряде других работ, выполненных под руководством Г.В. Иванова в ЛИСИ. Электрофлотация находит применение для очистки сточных вод маслопромыслов, маслобаз, маслоперерабатывающих заводов, кожевенных заводов, меховых фабрик, целлюлозно-бумажных и электрохимических производств, текстильных, пищевых предприятий и других, а также при разделении и уплотнении активного ила после аэротенков на биологических очистных сооружениях. Эффекты очистки могут составлять: по маслопродуктам – до 90 %, по взвешенным веществам – до 70%, по жирам – 80%; детергенты могут быть удалены на 60...70%.

Перспективным направлением является ионная электрофлотация при очистке сточных вод и извлечение как металлов из разбавленных растворов, так и различных ценных веществ из морской воды. При соответствующих условиях возможно разделять ионы различных элементов, имеющие одинаковые по величине и знаку заряды.

Конструкции аппаратов для электрофлотационной очистки достаточно просты. Electroды могут выполняться в виде пластин, располагаемых на дне аппарата горизонтально или вертикально, занимая практически всю площадь днища с целью предотвращения циркуляционных потоков, препятствующих флотированию загрязнений.

На рис. 4 представлена схема очистки воды от масла и примесей масла: 1 – электрофлотатор, 2 – фильтр, 3 – сборник шлама и воды, 4 – сборник примеси масла.

Для предотвращения образования отложений предлагаются различные модификации схем размещения электродов в аппа-

рате. Аноды 3 из графита или другого электролитически стойкого материала выполнены в виде отдельных трехгранных призм, расположенных в шахматном порядке, а катоды 5 – в виде отдельных проволочных сеток, изогнутых под углом и расположенных над призмами анодов параллельно их граням. Для подвода электрического тока в призмы запрессованы токопроводящие втулки 4. В верхней части аппарата расположен наклонный желоб 1 для сбора и отвода пенного конденсата, в котором помещен трубопровод острого пара 2 для гашения пены, а в нижней части — конусное днище для сбора осадка.

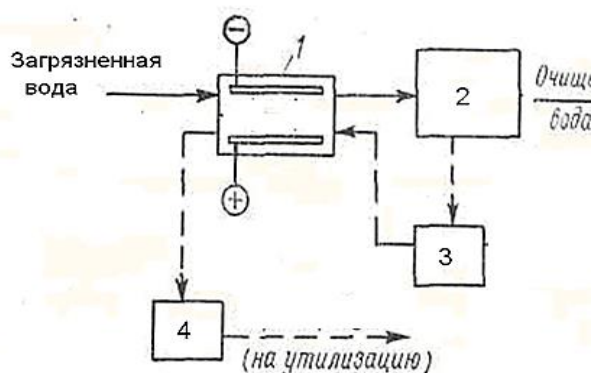


Рис. 4

Метод электрофлотации имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с другими способами флотации сточных вод: простота изготовления аппаратов и несложность их обслуживания; возможность регулирования степени очистки жидкости в зависимости от фазово-дисперсного состояния загрязнений путем изменения только одного параметра (плотности тока) в технологическом процессе; высокая степень дисперсности газовых пузырьков, обеспечивающая эффективность прилипания к ним нерастворимых примесей; отсутствие вращающихся частей в рабочей зоне аппаратов, гарантирующее надежность их работы и исключаящее перемешивание обрабатываемой жидкости и измельчение содержащихся в ней взвешенных частиц; дополнительная минерализация органических загрязнений с одновременным обеззараживанием сточных вод за счет образующихся на

аноде продуктов электролиза – атомарного кислорода и активного хлора.

ВЫВОДЫ

Электрофлотация является одним из наиболее эффективных способов очистки воды от масла и примесей масла, она осуществляется в аппаратах с нерастворимыми или растворимыми электродами. Создана конструкция аппарата для электрофлотационной очистки. Конструкции аппаратов для электрофлотационной очистки достаточно просты. В результате исследования определены оптимальные параметры очистки воды от примесей масла в данном предложенном электролизере: плотность тока на титане 150 A/m^2 , продолжительность электролиза 40 мин. Предложена принципиально новая схема очистки воды от примесей масла. Метод электрофлотации имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с другими способами флотации сточных вод: простота изготовления аппаратов и несложность их обслуживания; возможность регулирования степени очистки жидкости в зависимости от фазово-дисперсного состояния загрязнений путем изменения только одного параметра (плотности тока) в технологическом процессе; высокая степень дисперсности газовых пузырьков, обеспечивающая эффективность прилипания к ним нерастворимых примесей; отсутствие вращающихся частей в рабочей зоне аппаратов, гарантирующее надежность их работы и исключаящее перемешивание обрабатываемой жидкости и измельчение содержащихся в ней взвешенных частиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Байысбай О.П., Изтлеуов Г.М., Ботабаев Н.Е., Абдуова А.А., Батиркулова А.А., Байбатырова Б.У., Аширбекова Г.Ш. Очистка сточных вод предприятий легкой промышленности от ионов хрома (VI) // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, № 1. С.306...308
2. Iztleuov G.M. Chemical treatment of waste // ICITE -2017. – Shymkent, 2017, P.142...143.
3. Iztleuov G.M. Electrochemical methods of water purification // International Scientific and Practical Conference: Perspective of Development Biology, Medicine and Pharmacy. – Shymkent, 2017, №3(80), P. 19...23.

4. Yuldasheva S., Iztleuov G., Baisbay O.P., Duisenova S., Erimbetova A., Orazova M.M. Waste Water Generators Identifying Water Users // International Scientific and Practical Conference: Perspective of Development Biology, Medicine and Pharmacy. – Shymkent, 2016, №4(77), 5. P.98...100.

5. Iztleuov G.M., Dairabaeva A., Sataeva L.M., Dosbayeva A.M., Askerbekova A.M., Azhibayeva B. Development of environmental measures wastewater production of chromium (vi) by an electrochemical method // International Scientific and Practical Conference: Perspective of Development Biology, Medicine and Pharmacy. – Shymkent, 2017, №3(80), P.137...140.

6. Шингисбаева Ж.А., Изтлеуов Г.М., Абдуова А.А., Джанпаизова В.М., Байбатырова Б.У., Таубаева А.С., Жорабаева Н.К. Разработка электрохимических методов получения минерального дубителя из титансодержащих отходов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, №1. С.323...326.

REFERENCES

1. Bayysbay O.P., Iztleuov G.M., Botabaev N.E., Abduova A.A., Batirkulova A.A., Baybatyrova B.U., Ashirbekova G.Sh. Ochistka stochnykh vod predpriyatiy legkoy promyshlennosti ot ionov khroma (VI) // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2019, № 1. S.306...308

2. Iztleuov G.M. Chemical treatment of waste // ICITE -2017. – Shymkent, 2017, P.142...143.

3. Iztleuov G.M. Electrochemical methods of water purification // International Scientific and Practical Conference: Perspective of Development Biology, Medicine and Pharmacy. – Shymkent, 2017, №3(80), P. 19...23.

4. Yuldasheva S., Iztleuov G., Baisbay O.P., Duisenova S., Erimbetova A., Orazova M.M. Waste Water Generators Identifying Water Users // International Scientific and Practical Conference: Perspective of Development Biology, Medicine and Pharmacy. – Shymkent, 2016, №4(77), 5. P.98...100.

5. Iztleuov G.M., Dairabaeva A., Sataeva L.M., Dosbayeva A.M., Askerbekova A.M., Azhibayeva B. Development of environmental measures wastewater production of chromium (vi) by an electrochemical method // International Scientific and Practical Conference: Perspective of Development Biology, Medicine and Pharmacy. – Shymkent, 2017, №3(80), P.137...140.

6. Shingisbaeva Zh.A., Iztleuov G.M., Abduova A.A., Dzhanpaizova V.M., Baybatyrova B.U., Taubaeva A.S., Zhorabaeva N.K. Razrabotka elektrokhimicheskikh metodov polucheniya mineral'nogo dubitelya iz titansoderzhashchikh otkhodov // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2019, №1. S.323...326.

Рекомендована кафедрой экологии. Поступила 22.01.20.