

давления в пределах 60 минут показывает самую низкую емкость 140 мА\*ч/г, что может быть связана с высокой температурой при длительной обработке подложки, что способствует окислению их поверхности после обработки плазмой при контакте с окружающим воздухом. Самую высокую емкость в 148 мА\*ч/г показала подложка, обработанная в течении 10 минут, есть тенденция роста емкости по увеличению времени обработки до 20 минут.

#### Список использованных источников

1. N. Nitta, F. Wu, J.T. Lee, G. Yushin, Li-ion battery materials: present and future, Mater. Today. 18 (2015) 252–264. doi:10.1016/j.mattod.2014.10.040.
2. X. Lei, H. Zhang, Y. Chen, W. Wang, Y. Ye, C. Zheng, et al., A three-dimensional LiFePO<sub>4</sub>/carbon nanotubes/graphene composite as a cathode material for lithium-ion batteries with superior high-rate performance, J. Alloys Compd. 626 (2015) 280–286. doi:10.1016/j.jallcom.2014.09.169.
3. Jianlin Li, Christopher Rulison, Jim Kiggans, Claus Daniel and David L. Wood III. Superior Performance of LiFePO<sub>4</sub> Aqueous Dispersions via Corona Treatment and Surface Energy Optimization // J. Electrochem. Soc. – 2012. - Vol.159.-№8.- P. A1152-A1157. doi: 10.1149/2.018208jes

УДК 54-484

### ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИОННОГО МЕТОДА ОЧИСТКИ СТОЧНОЙ ВОДЫ

Пазылова Меруерт Усимхановна

*meruert-1997@mail.ru*

Магистрант 2-го курса ЕНУ имени Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Научный руководитель – Г.А. Бейсембаева

**Абстракт.** В данной работе рассмотрен электрокоагуляционный (ЭК) метод очистки воды убойного цеха птицефабрики с использованием титан-алюминиевых электродов. Приведены результаты исследования эффективности удаления алюминия из воды убойного цеха птицефабрики на примере цеха пересъема. При очистке воды в электрокоагуляторе с растворимым алюминиевым анодом изучено влияние плотности тока и различного содержания коагулянтов на эффективность очистки воды. Эффективность электрохимической очистки пробы воды с цеха пересъема птицефабрики ТОО «Capital projects LTD» в течение 10 мин оценивается по значениям взвешенных веществ, ХПК и БПК<sub>5</sub> как 98%, 100% и 99 % соответственно.

**Ключевые слова:** электрохимическая очистка, сточные воды, птицеперерабатывающие предприятия, электроды, электрокоагулятор, плотность тока, выход по току, эффективность очистки

Очистка сточных вод тесно связано с охраной окружающей среды и, следовательно, является актуальной проблемой в настоящее время. В связи с этим увеличивается потребность очистки сточных вод различных предприятий. Для этого особую важность имеет электрокоагуляционный способ очистки, при котором возможно использование воды после процедуры.

Очистка воды методом электролитической коагуляции (далее – ЭК) заключается в оседании (коагуляции) коллоидных дисперсных частиц с использованием электродов, которые подвергаются электролитическому растворению под действием электрического поля. Данный метод технологически довольно прост и эффективен. Рекомендуются

использование данного метода для локальных сооружений очистки небольшого объема сточных вод, вследствие больших затрат на электроэнергию и листового металла.

От эффективности очищения сточных вод птицеводческой фабрики и ее физико-химического состава зависит, в первую очередь, качество выпускаемой продукции. Прежде чем поступить в поилки, вся вода технологического цикла должна пройти обязательную очистку. То есть это и предотвращение механических взвесей, и удаление примесей органического происхождения, соединений железа, а также управление минералогическим составом. Стоки птицеводческих предприятий содержат органические вещества животного происхождения во взвешенном состоянии: жиры, белки, фекалии и перья. Следовательно, правильно подобранный способ очистки воды приведет к благоприятному росту поголовья птиц, увеличение и укрепление их иммунитета.

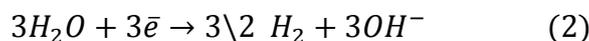
На протекание процесса электролитической коагуляции влияет материал электродов, расстояние между ними, скорость движения сточной воды между электродами, ее температура и солевой состав, напряжение, сила и плотность электрического тока.

При использовании в качестве коагулянтов солей алюминия и железа в результате реакции гидролиза образуются малорастворимые в воде гидроксиды железа и алюминия, которые сорбируют на развитой хлопьевидной поверхности взвешенные, мелкодисперсные и коллоидные вещества и при благоприятных гидродинамических условиях оседают на дно отстойника, образуя осадок [1].

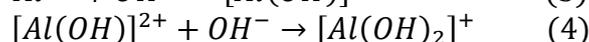
Основной лимитирующей стадией при ЭК является растворение анода, согласно уравнению (1):



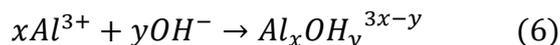
На катоде происходит восстановление молекулы воды до гидроксид-ионов, которые в дальнейшем приводят к образованию нерастворимых гидроокисей, согласно формуле (2):



Следующая стадия ЭК представляет собой химическую гидратацию катионов металла, образование нерастворимых гидроокисей и их полимеризация и выпадение в осадок с дальнейшим формированием хлопьев. Эти хлопья способны флокулировать примеси воды. Соответствующие химические реакции данных процессов описаны следующими уравнениями (3,4) и окончательно полимеруются, согласно формуле (5):



Образование гидроокисей алюминия при ЭК очень изменчиво (общая формула полимеризации (6)) и сильно зависит от pH (рисунок 1) [3].



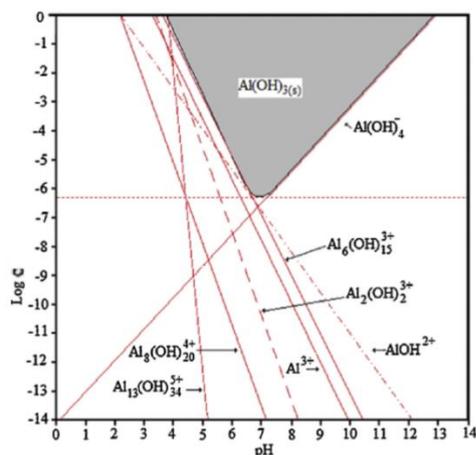


Рисунок 1. Растворимость видов гидроксидов Al в зависимости от концентрации и pH.

Грязная вода, содержащая остатки перьев, крови и жира, после технологического процесса на птицефабрике поступает на первую стадию очистки - отделения от перьев в приёмную ёмкость для пера и жиरोотделения. Перо остаётся в съёмном барьере. Вода проходит через крупные отверстия ( $\varnothing = 2$  мм). Далее вода самотёком поступает в лабиринтную часть ёмкости 1, где за счёт разности плотностей двух фаз отделяется жир и улавливаются крупные органические и твердые вещества из основного потока воды. Затем вода самотёком подается на вторую стадию очистки – в электролизер. В ходе протекания электролиза происходит коагуляция примесей, содержащихся в воде.

Лабораторная установка (электрокоагулятор) изготовлена из полипропиленового материала с титан-алюминиевыми электродами. Восемь электродов расположены вертикально и последовательно по четыре каждого, расстояние между которыми составляет 1 см. На рисунке 2 изображена схема установки:

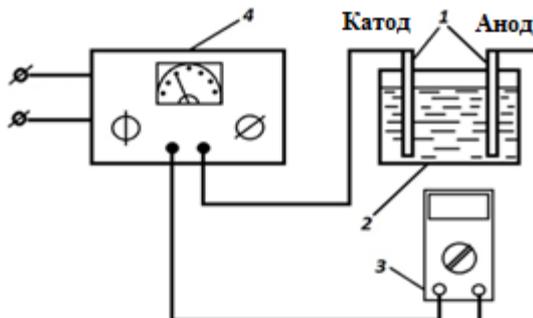


Рисунок 2. Лабораторная установка:

1 – Ti-Fe-электроды, 2 – электролитная ячейка, 3 – амперметр, 4 – источник постоянного тока

Вода убойного цеха пересъема характеризуется следующими физико-химическими показателями (таблица 1):

Таблица 1 – Результаты химического анализа воды цеха пересъема до очистки:

Показатели	Скважина	Цех пересъема	ПДК [4]	Ед. изм.
pH	7,2	6,2	6-9	-
Мутность	0	11,9	2,6	FAU
Цветность	59	95,1	20	-
Взвешенные вещества	26	202	0,25	мг/дм <sup>3</sup>

Хлор свободный	0,03	2,04	0,3-0,5	мг/дм <sup>3</sup>
Хлор общий	0,05	8,57	350	мг/дм <sup>3</sup>
Азот нитритов	0,008	0,204	3,0	мг/дм <sup>3</sup>
Азот нитратов	1,8	24,1	45	мг/дм <sup>3</sup>
Фосфаты и общий фосфор	0,10	2,81	3,5	мг/дм <sup>3</sup>
Аммонийный азот	0,0	0,57	1,5	мг/дм <sup>3</sup>
Алюминий	3,23	5,5	0,5	мг/дм <sup>3</sup>
ХПК	20,4	10,4	5	мг/дм <sup>3</sup>
БПК <sub>5</sub>	8,2	10,0	4	мг/дм <sup>3</sup>

На таблице 1 показаны основные виды загрязнений исследуемой воды – это алюминий и органолептические свойства воды. Содержание алюминия в исследуемой воде превышает значение ПДК в 11 раз.

Исследуемую воду анализировали с помощью спектрофотометра (НАСН DR3900, Германия). Все параметры рН, цветность, мутность, ХПК, взвешенные вещества, концентрации хлора (общий, свободный), нитритов и нитратов азота, фосфатов, аммонийного азота были определены с использованием стандартных реагентов и наборов для испытаний в соответствии с методами, приведенными в НАСН со. Для определения железа, алюминия и БПК были использованы методики [5-7].

На электрохимическое растворение анода оказывают влияние такие факторы, как температура, сила и плотность электрического тока, значение рН, солевой состав воды, расстояние между электродами, скорость движения воды между электродами, концентрация взвешенных веществ.

Рассмотрим влияние плотности тока на эффективность удаления алюминия.

Из рисунка 3 следует, что в цехе перосъема эффективность очистки достигает максимума при минимальной плотности тока, равной 0,05 А/см<sup>2</sup>. Это объясняется электрохимическим растворением алюминиевого анода.

Стоит отметить, что повышение плотности тока приводит к увеличению затрат на энергию, но способствует образованию хлопьев, которые осаждают примеси воды. Уменьшению затрат на энергию способствует введение коагулянта и осуществлению ЭК при минимальной плотности тока.

Для подбора оптимального количества введенного коагулянта изучено влияние концентрации алюминия от концентрации коагулянта при низкой плотности тока, равной 0,05 А/см<sup>2</sup>.

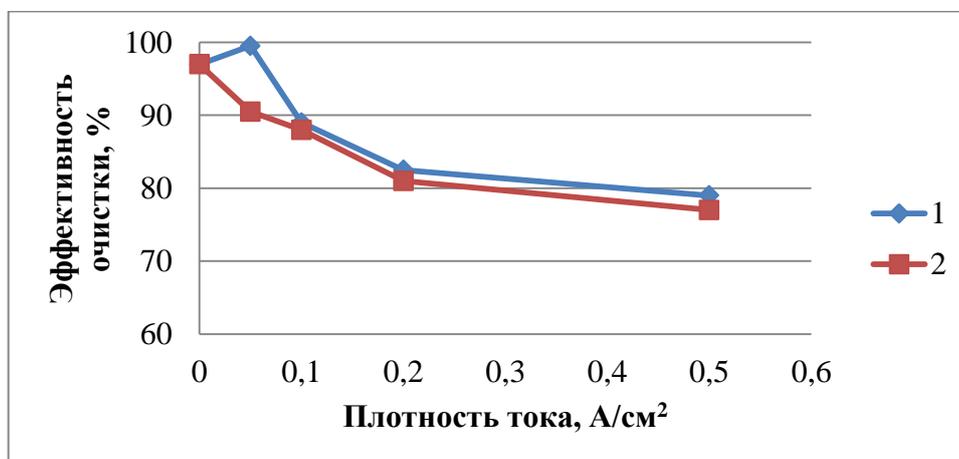


Рисунок 3. Зависимость плотность тока от эффективности очистки алюминия:

1 – скважина, 2 – цех пересъема

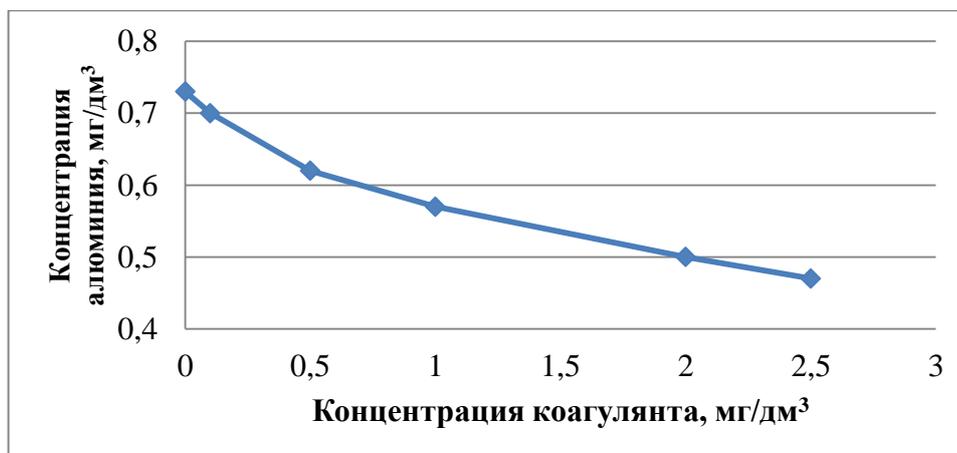


Рисунок 4. Влияние количества коагулянта на концентрацию алюминия

Рисунок 4 показывает, что увеличение количества коагулянта приводит к достижению значения, не превышающего ПДК, равной 0,47 мг/дм³. Следовательно, оптимальным режимом при процессе ЭК явились плотность тока, равная 0,05 А/см², слабощелочная среда рН=6,5-7,5 и количество введенного коагулянта составило 2 мг/дм³.

Эффективность очистки были рассчитаны по формуле:

$$\text{Эффективность очистки (\%)} = \frac{C_{\text{до}} - C_{\text{после}}}{C_{\text{до}}} * 100\%,$$

где  $C_{\text{до}}$  и  $C_{\text{после}}$  - начальные и конечные концентраций показателей.

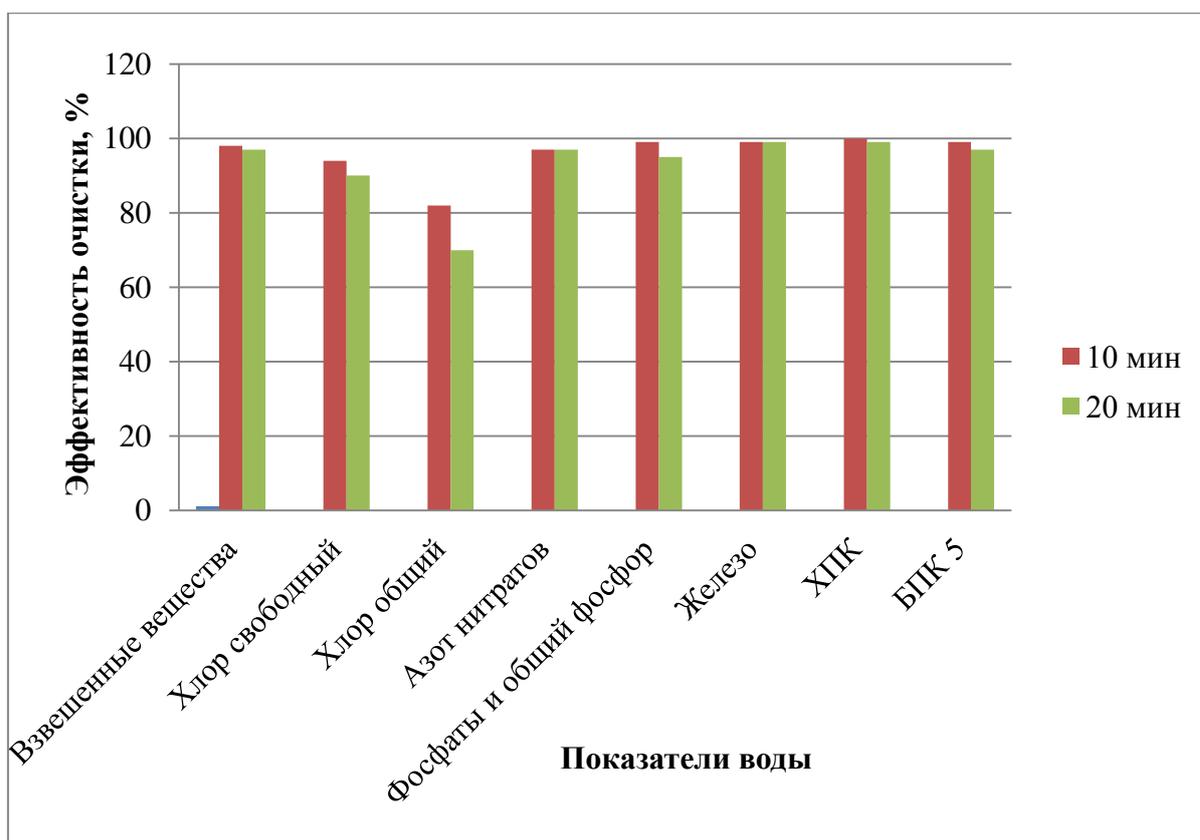


Рисунок 5. Эффективность ЭК очистки воды цеха перосъема при различной экспозиции

В заключении, электрохимическая очистка в течение 10 минут времени является более эффективной в сравнении с 20 минутной очисткой. Следовательно, эффективность электрохимической очистки пробы воды с цеха перосъема птицефабрики ТОО «Capital projects LTD» в течение 10 мин оценивается по значениям взвешенных веществ, ХПК и БПК<sub>5</sub> как 98%, 100% и 99 % соответственно.

#### Список использованных источников

1. Eryuruk K., Tezcan Un U., Bakır Ogutveren U. Electrochemical treatment of wastewaters from poultry slaughtering and processing by using iron electrodes // J. Clean. Prod. 2018. Vol. 172. P. 1089–1095.
2. Thirugnanasambandham K., Sivakumar V., Maran J.P. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers Efficiency of electrocoagulation method to treat chicken processing industry wastewater — modeling and optimization // J. Taiwan Inst. Chem. Eng. Taiwan Institute of Chemical Engineers, 2014.
3. Kobya M., Demirbas E. Evaluations of operating parameters on treatment of can manufacturing wastewater by electrocoagulation // J. of Water Process Engineering. 2015. Vol. 8. P. 64-74.
4. СанПиН РК «Об утверждении Санитарных правил "Санитарно-эпидемиологические требования к водоемким объектам, местам водозабора для хозяйственно-питьевых целей, хозяйственно-питьевому водоснабжению и местам культурно-бытового водопользования и безопасности водных объектов» от 16 марта 2015 г.
5. ГОСТ 4011-72. Вода питьевая. Методы измерения массовой концентрации общего железа.
6. ГОСТ 18165-2014 Вода. Методы определения содержания алюминия.
7. ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97 «Методика выполнения измерений биохимической потребности в кислороде после n-дней инкубации в поверхностных, пресных, подземных, питьевых, сточных и очищенных сточных водах».