

ЕҢБЕК ҚЫЗЫЛ ТУ ОРДЕНДІ
«Ә. Б. БЕКТҰРОВ АТЫНДАҒЫ
ХИМИЯ ҒЫЛЫМДАРЫ ИНСТИТУТЫ»
АКЦИОНЕРЛІК ҚОҒАМЫ

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ХИМИЯ ЖУРНАЛЫ

ХИМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ КАЗАХСТАНА

CHEMICAL JOURNAL of KAZAKHSTAN

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
«ИНСТИТУТ ХИМИЧЕСКИХ НАУК
им. А. Б. БЕКТУРОВА»

3 (71)

ИЮЛЬ – СЕНТЯБРЬ 2020 г.
ИЗДАЕТСЯ С ОКТЯБРЯ 2003 ГОДА
ВЫХОДИТ 4 РАЗА В ГОД

АЛМАТЫ
2020

К. С. МЕЙРАМКУЛОВА

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,
Нур-Султан, Республика Казахстан

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПТИЦЕФАБРИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

Аннотация. В статье рассматривается вопрос влияния различных электродов на результативность электрокоагуляционной очистки сточных вод из убойных цехов местной птицефабрики. При исследовании определены оптимальные характеристики выполнения процесса электролиза. Для сравнительного анализа использовались катоды, изготовленные из титана, графита и стали, а в качестве анода выступал алюминий. Расстояние между электродами во всех случаях составляло 2 см, сила тока поддерживалась в пределах 0,9А, а напряжение 6В. Количественными параметрами анализа выступали химическое потребление кислорода (ХПК) и биологическое потребление кислорода (БПК). Как показал анализ, наиболее эффективными в очистке послужили электроды из графита и титана.

Ключевые слова: электрокоагуляция, сила тока, электролиз, алюминий, графит, титан, сталь.

Введение. В последнее время наблюдается резко возрастающий спрос на новые технологии очистки воды, поскольку население мира увеличивается, а основные источники пресной воды загрязняются. Это связано либо с отсутствием надлежащего финансирования со стороны правительства, либо с недостатком соответствующих ноу-хау технологий для очистки воды. Поскольку отрасли промышленности играют важную роль в развитии всех стран, эти ограниченные источники воды потребляются с очень высокой интенсивностью. Кроме того, отрасли промышленности должны соглашаться на низкое качество сырой воды, поскольку для потребления человеком на муниципальном и бытовом уровне требуется более высокая доля пресной воды. Поэтому технологии очистки сточных вод, используемые как в муниципальных, так и в промышленных целях, нуждаются в дальнейшем развитии.

Сточные воды птицефабрик представляют собой смесь технологической воды, образующаяся в процессе убоя и периодической промывки остаточных частиц. Хотя сточные воды птицеводческих предприятий имеют различный состав в зависимости от производственного процесса и потребности в воде для убойной птицы, эти загрязненные воды содержат высокие уровни органических веществ. Основными загрязнителями в сточных водах, возникающими в процессе убоя птиц, являются биохимическая потребность в кислороде (БПК) и химическая потребность в кислороде (ХПК), азот и фосфор из-за присутствия органических составляющих, таких как кровь, жир, масла и белки [1-3]. Поэтому очистка сточных вод линий убоя птиц в птицефабриках

очень важна для предотвращения высокой органической нагрузки на муниципальные очистные сооружения.

Сообщаются о различных методах очистки сточных вод на предприятиях по убою птиц (ПУП) [4]. Биологические процессы, такие как аэробные или анаэробные системы широко используются для очистки сточных вод ПУП [5–7]. Хотя биологические процессы являются эффективными и экономичными, длительное время удержания в гидравлической системе и большие требования к площади (то есть большой объем биореактора) иногда делают эти процессы менее привлекательными, чем физико-химические методы очистки, которые требуют более короткого времени удержания [8].

Электрохимические методы и процессы в течение многих лет применяются в таких областях, как очистка сточных вод, восстановление металлов, гальванизация и качественный/количественный анализ в различных водных средах. Среди этих процессов электрокоагуляция (ЭК) приобрела большой интерес благодаря обеспечению простой, надежной и экономически эффективной операции по очистке сточных вод без необходимости в дополнительных химикатах и, следовательно, вторичного загрязнения. ЭК является экологически чистым методом, поскольку «электрон» является основным реагентом и не требует добавления реагентов/химикатов. Это сводит к минимуму образование осадка в значительной степени и в конечном итоге устраняет некоторые вредные химические вещества, используемые в качестве коагулянтов в традиционных методах очистки сточных вод. [9]. Этот метод использует источник постоянного тока (ИПТ) между металлическими электродами, погруженными в загрязненную воду [10]. В результате приложения электрического тока растворимые металлические электроды (в основном железо и алюминий) образуют гидроксиды металлов, которые действуют как коагулянты и приводят к удалению различных загрязнений [11].

В данной работе представлены результаты процесса электрохимической коагуляции для удаления загрязнений из сточных вод убойного цеха птицефабрики ПК «Ижевское». Целью данного исследования являлось выявление наиболее эффективных электродов для очистки сточных вод. Роль материала электродов (анода) на эффективность очистки процесса ЭК были изучены и представлены. Для этого были выбраны три типа катода из следующих материалов: титан, сталь и графит. Эффективность очистки оценивалась с помощью таких параметров, как ХПК и БПК₅.

Объект и методика. Сточные воды убойного цеха с линии охлаждения и перосъема были взяты с местной птицефабрики ПК «Ижевское», которая расположена в Акмолинской области, Аршалинском районе, поселке Ижевск.

Химические анализы по определению содержания БПК₅ и ХПК в сточной и очищенной водах проводились с использованием международных общепринятых стандартных методик [12-13]. Для измерения химического потребления кислорода использовали спектрофотометр Nach DR3900 (NACH/LANGE, Германия) с применением стандартных реагентов. Кроме

того, манометрический метод измерения биологического потребления кислорода был выполнен с помощью OxiTop®, укомплектованный датчиком давления. Этот метод основан на измерении давления в замкнутой системе: микроорганизмы в образце потребляют кислород и образуют CO₂, который в свою очередь поглощается NaOH, создавая вакуум, который может быть непосредственно считан как измеренное значение БПК в мг/л.

Во всех экспериментах использовался лабораторный реактор из полипропиленового материала с параметрами размеров, равными 15x13x11 см (емкость = 2000 см³). Экспериментальная установка показана на рисунке 1. Две группы чередующихся электродов, представляющих собой катоды (титан, сталь или графит) и аноды из алюминия по три пластины каждого типа, были расположены вертикально. Анодом во всех случаях выступал алюминий, тогда как расстояние между электродами поддерживалось 2 см. Пробы сточных вод в количестве до 1,5 литра помещали в электролизер, через который пропускали постоянный электрический ток силой 0,9 Ампер и напряжением до 6 Вольт в течение 30 минут. Каждый прогон был рассчитан с момента включения источника питания постоянного тока. Два цифровых мультиметра (Врумен Вм 201) в качестве амперметра и вольтметра были использованы для измерения тока, проходящего через цепь, и приложенного потенциала, соответственно. Блок электролизера перемешивали при 150 об/мин с помощью магнитной мешалки (Heidolph MR 3,004 S).

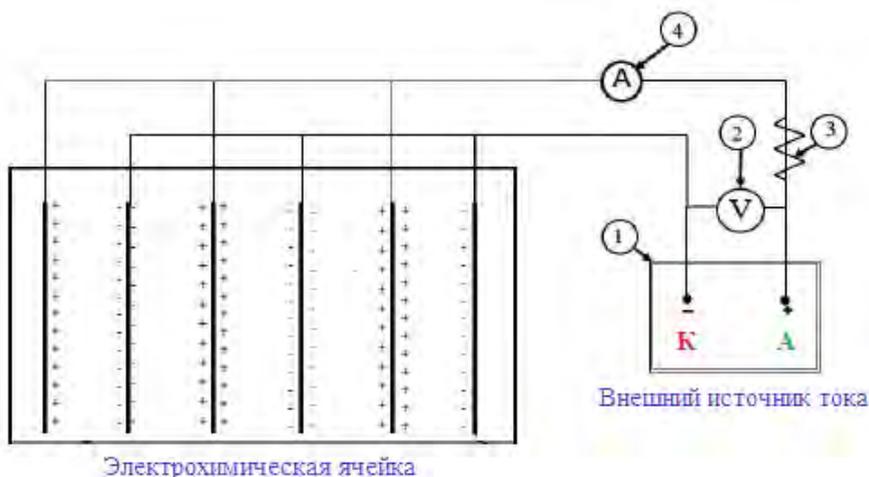


Рисунок 1 – Схематическое изображение экспериментальной установки:

- (1) источник питания постоянного тока, (2) вольтметр, (3) переменное сопротивление,
- (4) амперметр, (5) электрохимическая ячейка (анод Al - катод Ti/сталь/графит)

Эффективность очистки сточных вод с убойных цехов птицефабрики (линии охлаждения и пересъема), которые подвергались электрокоагуляционной обработке, рассчитывали следующей формулой:

$$\epsilon(\%) = \frac{C - C_0}{C},$$

где ϵ – эффективность очистки (%); C – начальная концентрация (мг/дм³); C_0 – концентрация после электрокоагуляции (мг/дм³).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для определения оптимальной пары электродов для электрохимической очистки сточных вод птицефабрики были проведены исследования, в которых варьировались разные электроды, а именно алюминий-титан, алюминий-сталь и алюминий-графит.

Очевидно, что выбор материала электрода является одним из параметров управления ЭК, который не только влияет на производительность и эффективность процесса, но также связан с затратами. Как правило, алюминиевые и железные электроды используются в качестве анодов из-за коагулирующих свойств многовалентных ионов [14]. Тем не менее, другая особенность заключается в том, что соли хлорида алюминия и железа являются наиболее используемыми коагулянтами и наиболее общепринятыми при коагуляционной обработке воды [15]. Кроме того, эти материалы также предпочтительны из-за их легкой доступности, их низкой стоимости и их высоких скоростей растворения.

В этом процессе при наложении потенциала на металлический анод из алюминия происходят две отдельные реакции: (1) Al растворяется из анода с образованием соответствующих ионов металла, которые почти сразу гидролизуются до полимерного гидроксида алюминия. Эти полимерные гидроксиды являются отличными коагулянтами. Расходуемые металлические аноды используются для непрерывного производства полимерных гидроксидов в непосредственной близости от анода. Коагуляция происходит, когда катионы металлов соединяются с отрицательными частицами, переносимыми к аноду электрофоретическим движением. Затем они удаляются путем электрофлотации или седиментации и фильтрации. Таким образом, вместо добавления коагулирующих химикатов, как в обычном процессе коагуляции, эти коагулирующие агенты генерируются *in situ*. (2) Вода также подвергается электролизу в параллельной реакции с образованием небольших пузырьков кислорода на аноде и водорода на катоде. Эти пузырьки притягивают флокулированные частицы и, благодаря естественной плавучести, всплывают на поверхность флокулированными загрязнителями [11]. Наиболее важные реакции приведены на рисунке 2.

Когда алюминиевые электроды используются в процессе ЭК в качестве анода, то на аноде происходят следующие основные реакции:



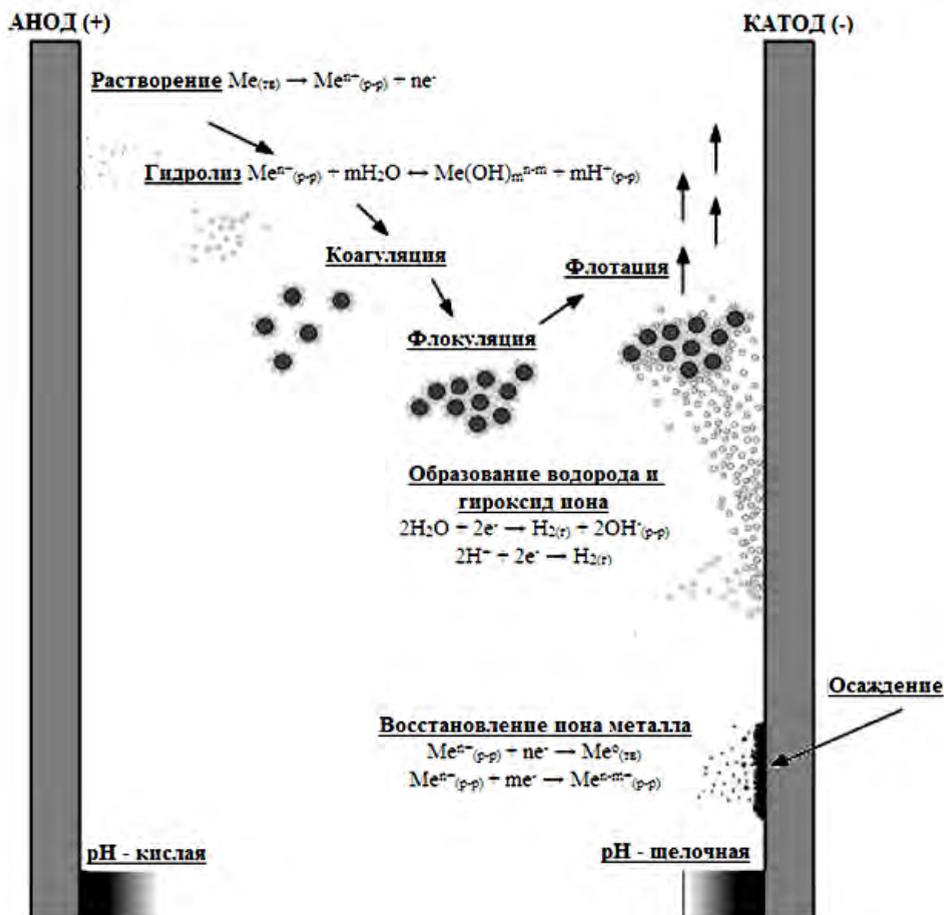


Рисунок 2 – Схематическое изображение типичных реакций при ЭК очистке с использованием источника постоянного тока

В процессе электрокоагуляции в качестве основных показателей удаления загрязняющих веществ из сточных вод птицефабрики были выбраны количественные данные по ХПК и БПК₅. Результаты химических анализов ХПК и БПК₅, а также расчетные данные по эффективности очистки для цехов охлаждения и пересыема представлены в таблицах 1 и 2, соответственно.

Согласно таблицам 1, 2, очень высокие показатели очистки были достигнуты при использовании пар электродов алюминий – титан и алюминий – графит с показателями эффективности очистки выше 99%. При применении пары сталь – алюминий данные по удалению ХПК и БПК₅ до и после ЭК обработки находились в пределах 96-97%, что является тоже весьма высоким показателем.

Таблица 1 – Показатели ХПК и БПК₅ в зависимости от материала электродов с линии охлаждения

Показатели	До очистки, мг/дм ³	После очистки, мг/дм ³	Є, (%)
Алюминий-Титан			
ХПК	2053	21,4	98,9
БПК ₅	1215.87	5,14	99,6
Алюминий-Сталь			
ХПК	1211	53,2	95,6
БПК ₅	1182	45,8	96,1
Алюминий-Графит			
ХПК	3622	18,3	99,5
БПК ₅	991	2,22	99,8

Таблица 2 – Показатели ХПК и БПК₅ в зависимости от материала электродов с линии перосъема

Показатели	До очистки, мг/дм ³	После очистки, мг/дм ³	Є, (%)
Алюминий-Титан			
ХПК	1712	9,43	99,4
БПК ₅	833,2	3,1	99,6
Алюминий-Сталь			
ХПК	1651	60,8	96,3
БПК ₅	1559	52,3	96,6
Алюминий-Графит			
ХПК	1400	7,2	99,5
БПК ₅	49,66	1,11	97,8

Можно предположить, что в случае пары электродов алюминий – титан на поверхности катода (титан), как правило, покрытого защитной пленкой оксида TiO₂, происходят реакции электроокисления. Гидроксильные радикалы (ОН°) и ионы Cl⁻ образуют HClO, который является мощным окислителем:



Возникающее электрохимическое окисление вместе с процессом ЭК проявляют синергетический эффект к удалению загрязняющих веществ, что и объясняет столь высокие показатели эффективности очистки.

Выводы. В работе проведены исследования влияния материала электрода (катода), изготовленных из титана, стали или графита, на эффектив-

ность очистки сточных вод местной птицефабрики. При использовании метода электрокоагуляционной обработки с приложением внешнего источника постоянного тока выяснилось, что наиболее высокие степени очистки можно достичь при применении титановых и графитовых электродов в качестве катода.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Asselin M., Drogui P., Benmoussa H., Blais J.F. Effectiveness of electrocoagulation process in removing organic compounds from slaughterhouse wastewater using monopolar and bipolar electrolytic cells // *Chemosphere*. – 2008. – Vol. 72. – P. 1727-1733.
- [2] Tezcan Un U., Koparal A.S., Bakir Ogutveren U. Hybrid processes for the treatment of cattle-slaughterhouse wastewater using aluminum and iron electrodes // *J Hazard Mater*. – 2009. – Vol. 164. – P. 580-586.
- [3] Alvarez R., Liden G. Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste // *Renew Energ*. – 2008. – Vol. 33. – P. 726-734.
- [4] Yetilmesoy K., Zengin Z.S. Recovery of ammonium nitrogen from the effluent of UASB treating poultry manure wastewater by MAP precipitation as a slow release fertilizer // *J. Hazard. Mater*. – 2009. – Vol. 166. – P. 260-269.
- [5] Bormann A., Valladao G., Freire D.M.G., Cammarota M.C. Enzymatic pre-hydrolysis applied to the anaerobic treatment of effluents from poultry slaughterhouses // *Int. Biodeterior. Biodegrad*. – 2007. – Vol. 60. – P. 219-225.
- [6] Nery V.D., Pozzi E., Damianovic M.H.R.Z., Domingues M.R., Zaiat M. Granules characteristics in the vertical profile of a full-scale upflow anaerobic sludge blanket reactor treating poultry slaughterhouse wastewater // *Bioresour. Technol*. – 2008. – Vol. 99. – P. 2018-2024.
- [7] Pozo R., Diez V., Beltra'n S. Anaerobic pre-treatment of slaughterhouse wastewater using fixed-film reactors // *Bioresour. Technol*. – 2000. – Vol. 71. – P. 143-149.
- [8] Asselin M., Drogui P., Benmoussa H., Blais J.F. Effectiveness of electrocoagulation process in removing organic compounds from slaughterhouse wastewater using monopolar and bipolar electrolytic cells // *Chemosphere*. – 2008. – Vol. 72. – P. 1727-1733.
- [9] Khandegar V., Saroha A.K. Electrochemical Treatment of Distillery Spent Wash Using Aluminum and Iron Electrodes // *Chinese Journal of Chemical Engineering*. – 2013. – Vol. 20. – P. 439-443.
- [10] Bayramoglu M., Eyvaz M., Kobya M. Treatment of the textile wastewater by electrocoagulation: economic evaluation // *Chemical Engineering Journal*. – 2007. – Vol. 128. – P. 155-161.
- [11] Mollah M.Y.A., Morkovsky P., Gomes J.A.G., Kesmez M., Parga J., Cocke D.L. Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation // *Journal of Hazardous Material B*. – 2004. – Vol. 114. – P. 199-210.
- [12] Ranges 3 to 150 mg/L COD and 20 to 1500 mg/L COD are USEPA approved for wastewater analyses (Standard Method 5220 D) // *Federal Register*. – 1980. – Vol. 45(78). – P. 26811-26812.
- [13] Jirka A.M., Carter M.J. Micro semi-automated analysis of surface and waste waters for chemical oxygen demand // *Analytical Chemistry*. – 1975. – Vol. 47(8). – P. 1397-1402.
- [14] Pearce M.J. Historical use and future development of chemicals for solid-liquid separation in the mineral processing industry // *Miner. Eng*. – 2003. – Vol. 16. – P. 103-108.
- [15] Verma A.K., Dash R.R., Bhunia P. A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of color from textile wastewaters // *J. Environ. Manage*. – 2012. – Vol. 93. – P. 154-168.

Резюме

К. С. Мейрамкулова

**ҚҰС ФАБРИКАСЫНЫҢ ШАЙЫНДЫ СУЛАРЫН
ЭЛЕКТРЛІК КОАГУЛЯЦИЯ ӨДІСІМЕН ӘРТҮРЛІ ЭЛЕКТРОДТАРДЫ
ПАЙДАЛАНЫП ТАЗАРТУДЫ САЛЫСТЫРУ**

Ұсынылып отырған мақалада жергілікті құс фабрикасының тауық етін дайындау цехында шайынды суларды тазартудың электрлік тұндыру коагуляциялаудың мәселелері қарастырылған. Зерттеу барысында электролиз жүргізудің қолайлы жақтары анықталды. Титаннан, графиттен және болаттан жасалынған катодтар өзара алыстырылды, ал анод қызметін алюминий атқарды. Электродтардың ара қашықтығы әрдайым 2 см құрады, ток күші 0,9А шамасында, ал кернеу 6В болды. Талдау барысында оттектің химиялық жұмсалынуы ОХЖ және оттектің биологиялық жұмсалынуы ОБЖ арқылы санды тұрғыда тұжырымдар жасалынды. Нәтижесінде ең тиімді электрод ретінде графит және титан көрсеткіштері қабылданылды.

Түйін сөздер: электрлік коагуляция, ток күші, электролиз, алюминий, графит, титан, болат.

Резюме

K. S. Meiramkulova

**COMPARATIVE ANALYSIS OF ELECTROCOAGULATION TREATMENT OF
WASTE WATER FROM A POULTRY FARM USING VARIOUS ELECTRODES**

In this article the issue of the influence of various electrodes on the effectiveness of electrocoagulation wastewater treatment from the slaughterhouses of a local poultry farm are considered. At the studying of the electrolysis process the optimal characteristics were identified. For a comparative analysis, we used cathodes made from titanium, graphite and steel, and the aluminum was used as an anode. Distance between the electrodes in all cases was 2 cm, the current strength was maintained within 0.9A, and the voltage was 6V. The quantitative parameters of the analysis were chemical oxygen demand (COD) and biological oxygen demand (BOD). The analysis showed that the most effective in cleaning were the electrodes made of graphite and titanium.

Key words: electrocoagulation, current strength, electrolysis, aluminum, graphite, titanium, steel.