

## ПОВЫШЕНИЕ СТЕПЕНИ ОЧИСТКИ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ СТОКОВ ПОСТОВ МОЙКИ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

М.А. Бойко,

ст. преподаватель каф. электроснабжения и электротехники БГАТУ

*В статье рассмотрены различные установки для очистки сточных вод постов мойки автотракторной техники. Изложены методы их электрохимической очистки и обеззараживания. Исследовано влияние материала электродов на эффективность очистки. Обосновано обеззараживающее действие анолита и католита на сточные воды.*

*Ключевые слова: сточные воды, очистка, нефтепродукты, электрокоагуляция, флотация, обеззараживание, плотность тока, напряженность электрического поля, анолит, католит.*

*The article considers various installations for wastewater treatment of automotive equipment washing stations. Methods of their electrochemical cleaning and disinfection are described. The effect of the electrode material on the cleaning efficiency is investigated. The disinfecting effect of anolyte and catholyte on wastewater is proved.*

*Key words: wastewater, treatment, oil products, electrocoagulation, flotation, disinfection, current density, electric field strength, anolyte, catholyte.*

### Введение

Одним из наиболее распространенных и опасных загрязнителей водных ресурсов являются нефтепродукты. Этому способствует широкое использование нефти и ее продуктов в различных отраслях экономики, в том числе и в сельском хозяйстве. К примеру, в сточных водах машинных дворов сельскохозяйственных организаций содержание нефтепродуктов может составлять от 200 до 350 мг/л [1]. Современные системы очистки сточных вод автомоек укомплектованы в основном оборудованием с фильтрующими элементами грубой и тонкой очистки. Они обеспечивают очистку до 85 – 97 % загрязнений, находящихся во взвешенном состоянии. Бессточные системы очистки уменьшают расход водных ресурсов и обеспечивают более надежную защиту гидросферы от загрязнений. Замкнутая система водоснабжения моек с очисткой до допустимых для моечного оборудования норм загрязнений наиболее подходит при использовании безреагентных (нехимических) способов очистки.

Исследованию процессов очистки и обеззараживания сточных вод различных производств посвящены работы В.И. Ильина, А.В. Едчика, С.А. Дубенок, В.А. Колесникова, Б.С. Ксенофонова, В.А. Проскуракова, О.В. Смирнова [2-7].

В настоящее время в агропромышленном комплексе Республики Беларусь при очистке сточных вод в основном применяются биологические способы. К устройствам биологической очистки относятся: аэротенки, метатенки, окситенки, биофильтры. Биочистка основана на поглощении аэробными или анаэробными микроорганизмами некоторых загряз-

нений органического и неорганического характера. Сточные воды, содержащие данные загрязнения, являются питательной средой для микроорганизмов, продукты жизнедеятельности которых выводятся из стоков в виде активного ила. Однако присутствие в исходной воде загрязнений техногенного характера – нефтепродуктов, синтетических моющих средств и других поверхностно активных веществ, а также тяжелых металлов (медь, серебро, бром, фтор) и хлора приводит к задержке (вплоть до полной остановки) роста разлагающих загрязнения микроорганизмов и, как следствие, к снижению качества очищенной воды.

Цель работы – повысить степень очистки и обеззараживания сточных вод постов мойки автотракторной техники и сельскохозяйственных машин от нефтепродуктов применением электротехнологических методов.

### Основная часть

В Республике Беларусь используются установки для очистки сточных вод автомоек российского (АРОС, УКОС, МОЙДОДЫР, ОСМА) и немецкого (KARCHER HDR и др.) производства (таблица). Практически все они требуют наличия отстойника – накопителя для временного хранения сточных вод, их отстоя и осаждения твердых минеральных загрязнений, нефтепродуктов, а большинство из них – наличия реагентного хозяйства. В качестве реагента используется сернокислый алюминий, железный купорос, импортные реагенты немецкого и итальянского производства. В качестве коагулянта применяется полиакриламид.

**Таблица. Характеристика установок для очистки стоков автомоек [8-10]**

Установка	Производительность, м <sup>3</sup> /ч	Степень очистки, %	Установленная мощность, кВт	Производители
АРОС-1 (реагентная обработка, электрокоагуляция, фильтрация)	1,0	94	2,4	ООО «Новые технологии», РФ
АРОС-5 К	5	97	3,8	
АРОС-10	10	95	4,2	
ОСМА -3,0 (реагентная обработка, электрокоагуляция, фильтрация)	3	97	2,3	«Национальные водные ресурсы», РФ
Радуга-500 (напорная фильтрация)	20	92	22,4	«ЭКОС», РФ
Скат-4,1 (биокоагуляция, напорная фильтрация)	4,4	95	4,4	«АКВОСЕРВИС», РФ
А-4 (реагентная обработка, фильтрация)	4,0	95	2,5	НИИ «ВОДГЕО», РФ
УКОС АВТО-6 (электрокоагуляция с алюминиевыми электродами, фильтрация)	6,5	97	10,0	НИЦ «Потенциал-2», РФ
МОЙДОДЫР М-4, 8 (электрокоагуляция, флотация, фильтрация)	4-8	95	11-16	ЗАО «ЭПФК «МОЙДОДЫР», РФ
МО – 1,5 (реагентная обработка, УФ-облучение, обеззараживание гипохлоритом натрия)	1,5	97	5,8	ООО «СТРОЙПРОЕКТ – МО», РФ
KARCHER HDR 555	0,2	85	0,6	Германия
KARCHER HDR 777	0,6	85	1,2	

Системы очистки KARCHER HDR используют для регенерации загрязненных маслами сточных вод, применяя специальные реагенты. Зарубежное очистное оборудование для автомойки компактно, но имеет малую производительность. Стоимость реагентов, используемых в установке, очень высокая и в условиях санкций ЕС импортировать их сложно.

После мойки с применением синтетических моющих средств, находящиеся в стоках нефтепродукты переходят в стойкие эмульсии. Их удаление с помощью нефтеловушек различных модификаций и фильтров, механическим или химическим способами малоэффективно.

Проведенные исследования по очистке стоков после мойки автотракторной техники и сельскохозяйственных машин показали высокую эффективность метода электрофлотокоагуляции [11-13].

Для проведения опытов была разработана и изготовлена экспериментальная установка – электролизер, представляющая собой ячейку со сменными электродами, которая питается от источника постоянного тока. Электролиз модельных сточных вод, содержащих до 50 мг/л углеводородных примесей, проводился в электрическом поле постоянного тока с алюминиевыми электродами (АМцМ) при плотности тока – 120...170 А/м<sup>2</sup>, напряженности электрического поля – 1700-2000 В/м, а также со стальными электродами (СтЗ) при плотности тока – 200...300 А/м<sup>2</sup>, напряженности электрического поля – 2400-3000 В/м. Продолжительность электрообработки стоков составляла 20 мин., их объем – 2 л. Результаты исследований представлены на рисунке.

В установке происходит анодное растворение электрода и электрохимическое образование коагу-

лянта (в зависимости от материала электродов это может быть хлорное железо, железный купорос, серноокислый алюминий). Электролизер отличается компактностью, простотой управления и обслуживания. В нем одновременно с электрокоагуляцией происходит электрофлотация скоагулировавших частиц. Углеводородные загрязнения поднимаются на поверхность пузырьками водорода, выделяющимися на катоде. При этом отсутствует потребность в дополнительных помещениях для хранения реагентов, уменьшаются экономические затраты на мойку, а эффективность очистки увеличивается.

Применение алюминиевых электродов оказалось более эффективным по сравнению со стальными. Электрокоагуляция загрязнений проходила примерно в 1,4 раза быстрее. Однако несущественная экономия затрат на электроэнергию при использовании алюминиевых электродов уступает их стоимости по сравнению с электродами из стали. Электрокоагуляторы с алюминиевыми пластинчатыми электродами следует применять для очистки сточных вод с высокой концентрацией нефтепродуктов (10 г/л и более) [1; 5, 6]. В результате электрообработки концентрация углеводородных и других органических загрязнений за 20 минут снизилась практически до 0,5-0,2 % (следы) (рисунок). Механические примеси выпали в осадок в результате отстоя, их концентрация составила не более 5-10 мг/л.

В используемой для мойки грузовых автомобилей осветленной производственной сточной воде концентрация механических примесей не должна превышать 70 мг/л, для мойки легковых автомобилей и автобусов – 40 мг/л. Концентрация нефтепродуктов не должна превышать, соответственно, 20 и 15 мг/л [10].

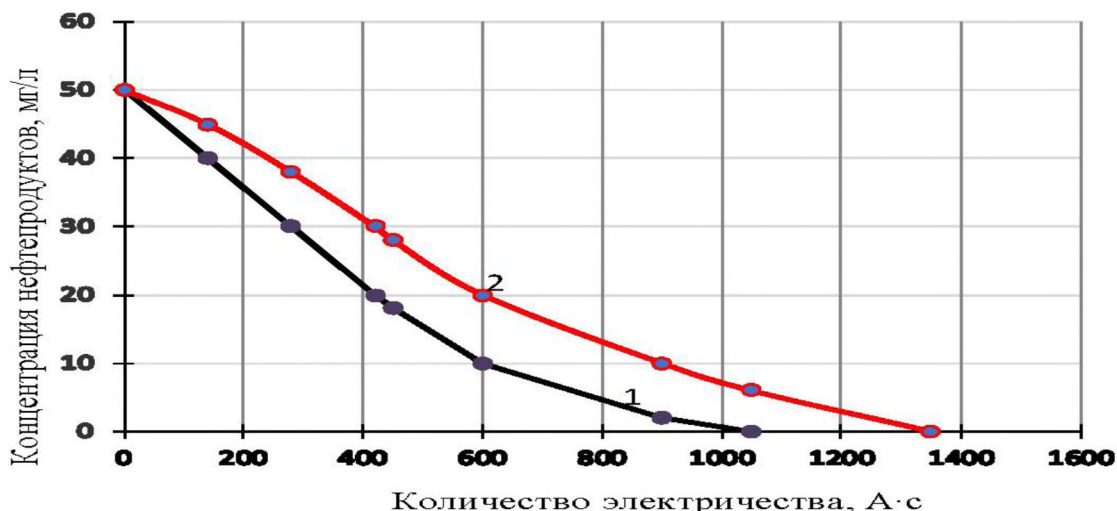


Рисунок. Зависимость концентрации нефтепродуктов в электролизере от количества электричества при использовании алюминиевых и стальных электродов: 1 – электроды из алюминия; 2 – электроды из стали

После вывозки органики на поля и мойки сельскохозяйственной техники в сточных водах присутствуют патогенные микробы. С целью устранения опасности их распространения при использовании очищенной воды в оборотном водоснабжении применяются различные способы обеззараживания. Наиболее часто используются – химические (хлорирование, озонирование), физические (термическая, ультразвуковая обработка, ультрафиолетовое излучение) [2-7; 10].

В ходе исследования обеззараживающее действие анолита и католита (продукты электрохимической активации) на сточные воды машинных дворов показало высокие результаты [1; 11].

Способ обеззараживания анолитом заключается в следующем. Для получения анолита слабоминерализованный водный раствор хлорида натрия (5-7 мг/л) был обработан в диафрагменном электрохимическом реакторе. Диафрагма в виде пористой диэлектрической перегородки между электродами реактора препятствует смешиванию объемов воды (растворов) в анодной и катодной камерах. В то же время она обеспечивает ионный обмен между этими объемами. В результате обработки в катодной камере реактора вода насыщается продуктами катодных электрохимических реакций, обычно гидроксидами металлов, образовавшимися из растворенных солей, гидроксид-ионами, водородом. При анодной обработке вода в анодной камере насыщается продуктами окисления, в том числе кислотами, синтезированными из растворенных солей, перекисью водорода, кислородом, хлором (т.е. анолит насыщен высокоактивными окислителями).

В нашем опыте концентрация активного хлора в анолите достигала 4250 мг/л. Показатель pH анолита в зависимости от электрического заряда доводился в одном случае от 2,5 до 3,5 (электроды из нержавеющей стали Х18Н10Т, напряженность электрического поля  $E = 700$  В/м, плотность тока  $j = 830$  А/м<sup>2</sup>), в другом – от 5,5 до 7,0 (электроды из низкоуглеродистой стали Ст3, напряженность электрического поля  $E = 300$  В/м, плот-

ность тока  $j = 800$  А/м<sup>2</sup>). В анодной камере происходит электрокаталитическое окисление органических примесей воды, их деструкция и уничтожение микроорганизмов.

Опыты по обработке оборудования, сточных вод, загрязненных бактерицидной и вирусной микрофлорой, показали положительные результаты после их обеззараживания анолитом [1; 11]. Анолит АНК (нейтральный) и анолит АН (кислый), католит с pH = 12 предназначены для дезинфекции и мойки тракторных прицепов и другой сельскохозяйственной техники, оборудования, инструментов. Перед применением анолита поверхности обрабатываемого объекта должны быть очищены от пыли, навоза и других загрязнений.

Антимикробная активность анолита и католита была определена в микробиологической лаборатории. Испытания вышеназванных образцов электрохимической активации проводились согласно общепринятым методикам и указаниям по исследованию действия антисептиков и дезинфицирующих средств на различные микроорганизмы (инструкция БелСЭС №11-20-2004). Данная методика основана на ингибировании (подавлении) роста тест-культур микроорганизмов. Продукты электрохимической активации показали высокий антимикробный эффект: католит – по отношению к грамотрицательным бактериям *Esherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* и анолит – к грамположительным бактериям *Staphylococcus aureus*.

Устойчивое обеззараживание сточных вод с колииндексом 5000-15000 достигается при смешивании их в равных объемах с анолитом, имеющим pH = 3, концентрации активного хлора – 3...5 мг/л. Достаточно сильное обеззараживающее действие анолита на вышеперечисленные тест-штаммы микроорганизмов было проявлено и при больших значениях pH, близких к 7,0. В этом случае концентрации гипохлорит-ионов и хлорноватистой кислоты примерно одинаковы, а расход количества электричества – в 2, 3 раза меньше. Общее микробное число (титр КОЕ) в 1 мл



питательного раствора, приготовленного по вышеизложенной методике, было равно нулю уже при концентрации активного хлора – 5 мг/л и рН анолита – 6,5.

При этом катодная вода (католит) обладает высоким рН и, соответственно, моющими свойствами. Она может направляться на повторное использование в моечную установку, а анодная вода (анолит), обладающая бактерицидными свойствами, собирается для обеззараживания инфицированных сточных вод, обработки сельскохозяйственной техники, задействованной на вывозке органических удобрений или в других целях, как дезинфицирующее средство. С учетом замкнутых систем использования воды на моечные цели, характера загрязнений сточных вод работа электроактиватора регулируется в зависимости от потребности в анолите. В случаях отсутствия в стоках бактерицидных загрязнений, их электрохимическая обработка проводится без межэлектродной перегородки.

Исследовалась также и очистка с использованием переменного электрического поля. Через обрабатываемую среду пропускали переменный электрический ток. Применение в этом случае мембранной перегородки существенного эффекта не оказало. В обеих камерах рН был одинаковый, близкий к нейтральному. Однако в этом случае для достижения того же эффекта очистки удельный расход электроэнергии увеличился почти в 1,5 раза [12, 13]. Низкую эффективность обработки стоков в переменном электрическом поле подтверждают и исследования других авторов [14, 15].

По сравнению с переменным током бактерицидное действие постоянного тока на микроорганизмы возрастает с уменьшением температуры обработки. Воздействие постоянного электрического тока и ионов  $H^+$  и  $OH^-$  (при разделении камеры электролизера мембраной на анодную и катодную) усиливает антимикробное действие в 100 раз [15].

### **Заключение**

1. Применение электрохимического способа очистки сточных вод постов мойки автотракторной техники с электрофлотокоагуляцией позволяет увеличить степень очистки от углеводородных загрязнений с 95 до 99,8 %.

2. Для одновременного обеззараживания сточных вод машинных дворов сельскохозяйственных организаций очистка предпочтительна применением способа электрохимической обработки с разделением катодной и анодной камер диафрагменной перегородкой. Обеззараживающее действие на бактерицидную микрофлору сточных вод и оборудование имеют продукты электрохимической активации – анолит кислый с рН = 3,0 и концентрацией в нем активного хлора 4...7 мг/л и анолит нейтральный с рН = 6,5 с такой же концентрацией активного хлора, а также католит с рН = 12,0. Установлено, что количество электричества на приготовление нейтрального анолита в 2,3 раза меньше, чем анолита кислого. Общее микробное число (титр КОЕ) равно нулю при концентрации активного хлора – 5 мг/л и рН анолита – 6,5.

3. Обеззараживание сточных вод переменным электрическим током для достижения того же эффекта, что и постоянным, требует увеличения удельного расхода электроэнергии на 40 – 50 %.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Крутов, А.В. Обеззараживание сточных вод машинных дворов продуктами электрохимической активации / А.В. Крутов, М.А. Бойко // Перспективы и направления развития энергетики АПК: материалы Междунар. науч.-технич. конф., Минск, 23-24 ноября 2007 г. / Белорус. гос. аграрн. техн. ун-т ; под ред. М.А. Прищепова. – Мн.: БГАТУ, 2007. – С. 246-249.
2. Ильин, В.И. Электрохимическая очистка промышленных сточных вод с оборотным циклом / В.И. Ильин, В.А. Колесников // Химическая технология. – 2002. – № 1. – С.31-35.
3. Ксенофонов, Б.С. Флотационная очистка сточных вод / Б.С. Ксенофонов. – М.: Новые технологии, 2003. – 160 с.
4. Едчик, А.В. Наилучшие доступные технические методы для очистки сточных вод / А.В. Едчик, С.А. Дубенок // Экология. – 2021. – № 1. – С. 96-107.
5. Removal of toxic pollutants from pulp mill effluents by electrocoagulation / M. Vepsäläinen [et al] // Purif. Technol. – 2011. – Vol. 9. – P. 141-150.
6. Katal, R. Influence of different combinations of aluminum and iron electrode on electrocoagulation efficiency: Application to the treatment of paper mill wastewater / R. Katal, H. Pahlavanzadeh // Desalination. – 2011. – Vol. 265. – P. 199-205.
7. Проскуряков, В.А. Очистка нефтепродуктов и нефтесодержащих вод электрообработкой / В.А. Проскуряков, О.В. Смирнов. – СПб: Химия, 1992. – 112 с.
8. Можаяев, Л.В. Современные технологии и оборудование для очистки сточных вод после мойки автомобилей / Л.В. Можаяев, В.К. Романов // Сантехника, отопление, канализация. – 2006. – № 3. – С.25-29.
9. Тихонов, И.А. Водно-химический режим автомойки. Оборотно-водоснабжение / И.А. Тихонов // Журнал СОК. – 2022. – № 5. – С.18-21.
10. Тихонов, И.А. Водно-химический режим автомойки. Оборотно-водоснабжение / И.А. Тихонов // Журнал СОК. – 2022. – № 6. – С.44-45.
11. Крутов, А.В. Обеззараживание дренажных вод при выращивании овощей способом малообъемной гидропоники / А.В. Крутов, М.А. Бойко, В.В. Боровская // Агропанорама. – 2011. – № 5. – С.13-16.
12. Крутов, А.В. Математические модели силового воздействия переменного электромагнитного поля на водные дисперсные системы / А.В. Крутов, М.А. Бойко // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК: материалы Междунар. науч.-технич. конф., Минск, 23-24 октября 2009 г. / Белорус. гос. аграрн. техн. ун-т; под ред. М.А. Прищепова: в 2-х ч. – Мн.: БГАТУ, 2009. – Ч. 1. – С. 167-170.

13. Крутов, А.В. Доочистка стоков постов мойки автотракторной техники применением метода электрофлокоагуляции / А.В. Крутов, М.А. Бойко, М.М. Суворов // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 24-25 ноября 2011 г. / Белорус. гос. аграрн. техн. ун-т ; под ред. М.А. Прищепова. – Минск: БГАТУ, 2011. – С. 210-213.

14. Salman, Hussein Abbas. Electrocoagulation Technique Used To Treat Wastewater: A Review / Hussein Abbas Salman // American Journal of Engineering Research (AJER). – 2018. – Vol. 7. – № 10. – P. 74-88.

15. Николаенко, М.М. О влиянии электрического тока на микроорганизмы в органических средах / М.М. Николаенко, П.В. Кардашов, Е.Е. Заяц // Агропанорама. – 1997. – № 4. – С.32-34.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 04.01.2024

УДК 658.345:681.3:621.315

<https://doi.org/10.56619/2078-7138-2024-161-1-33-38>

## К ВОПРОСУ РАСПОЗНАВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПО НАВОДИМОМУ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМУ ПОЛЮ

**В.В. Русских,**

*аспирант факультета «Технический сервис в АПК» БГАТУ*

**Г.И. Белохвостов,**

*доцент каф. управления охраной труда БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

**В.Г. Андруш,**

*зав. каф. управления охраной труда БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

**А.И. Зеленкевич,**

*зав. каф. электроснабжения и электротехники БГАТУ, канд. техн. наук*

*Статья посвящена решению актуальной научно-практической задачи – обеспечению электробезопасности при работе крупногабаритной сельскохозяйственной техники (КСХТ) под линиями электропередачи (ЛЭП) путем разработки устройства, сигнализирующего о приближении к ним. Представлена классификация устройств и способов определения приближения техники к ЛЭП. Предложен метод зеркальных проекций расчета напряженности электрических и магнитных полей, создаваемых ЛЭП. Произведен расчет тормозного пути комбайна и порога срабатывания разработанного сигнализатора. Приведены результаты расчета напряженностей электрического и магнитного поля ЛЭП напряжением 110кВ. Выполнен сравнительный анализ теоретических и полученных экспериментальных данных. Дана оценка соответствия расчетных данных экспериментальным.*

*Ключевые слова: сельское хозяйство, обнаружение линий электропередачи, крупногабаритная сельскохозяйственная техника, сигнализатор, электромагнитное поле.*

*The paper is devoted to the actual scientific and practical problem – electrical safety when operating large-sized agricultural machinery (LSAT) under electric power lines (EPL) by developing a device that signals an unsafe distance to the power line. A classification of devices and methods for detecting the proximity of machinery to power lines is presented. The method of mirror projections for calculating the intensity of electric and magnetic fields created by power lines is proposed. The calculation of the combine harvester braking distance and the threshold of the developed signalling device operation is made. The results of the calculations of electric and magnetic field strengths of 110 kV power line are given. A comparative analysis of theoretical and experimental data obtained by the authors is carried out. The conformity of the calculated data to the experimental ones is assessed.*

*Key words: agriculture, power line detection (PLD), large-sized agricultural machinery (LSAM), signaling device, electromagnetic field.*

### Введение

Предоставление прав и гарантий работникам сельскохозяйственного производства в сфере охраны труда, формирование условий для достойной трудовой деятельности, приносящей удовлетворение работнику и пользу окружающим, является одним из основных направлений социальной политики страны.

В начале XIX века были созданы первые рабочие прототипы тракторов, комбайнов и другой крупногабаритной сельскохозяйственной техники с целью повышения эффективности и снижения затрат ручного труда [1, 2]. Наряду с положительным эффектом это привело к повышению требований к квалификации работников и увеличению риска для здоровья и жизни людей.