

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ, ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА



УДК 628.337

С.Г. ТРЕТЬЯКОВ, Т.И. ХАЛТУРИНА, Е.Л. ВОЙТОВ, О.В. ЧУРБАКОВА

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ РАЗРАБОТКИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ МАСЛОЭМУЛЬСИОННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Рассмотрены сравнительные разработки процесса интенсификации электрокоагуляционной очистки сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты, которые образуются на предприятиях металлообработки. Проведены экспериментальные исследования процесса электрокоагуляции с помощью сравнения устройств при асимметричном токе на модельных стоках, содержащих эмульгированные нефтепродукты. Показана возможность процесса электрообработки асимметричным током маслосодержащего осадка для снижения удельного сопротивления фильтрации, замасленности и влажности. Определен химический состав осадка электрокоагуляционной очистки маслоэмульсионных сточных вод с целью разработки технологии последующей утилизации.

К л ю ч е в ы е с л о в а: эмульгированные нефтепродукты, сточные воды, электрокоагуляция, асимметричный переменный ток, вибрационное воздействие, устройство, осадок, термогравиметрический анализ.

DOI 10.32683/0536-1052-2021-747-3-

Введение. На предприятиях металлообработки в технологических процессах применяются смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) для эффективной эксплуатации металлорежущего оборудования [1]. Отработанные СОЖ образуют сточные воды, содержащие эмульгированные нефтепродукты, которые представляют сложную проблему обезвреживания [2–6]. Известно [6], что для стабильных МЭС (маслоэмульсионных стоков) выбор метода и схемы очистных сооружений предопределяет различный подход к решению проблемы, который будет зависеть от состава, концентрации тонкодисперсных коллоидных и растворимых примесей, а также требований к качеству очищенной воды при учете региональных условий.

Согласно литературным источникам [7–11], рациональным методом обезвреживания сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты, является электрохимическая технология. Электрокоагуляционная обработка предпочтительна при обработке сточных вод, расход которых не пре-

© Третьяков С.Г., Халтурина Т.И., Войтов Е.Л., Чурбакова О.В., 2021

вышает 50–80 м³/ч, в условиях ограниченности производственных площадей, а также на предприятиях, расположенных в отдаленных районах. Преимущество электрокоагуляционного метода в сравнении с реагентным определено малой площадью установки, относительной простотой ее эксплуатации и сокращением объема реагентного хозяйства. Недостатком данной технологии является расход металла (алюминия, железа) и электроэнергии. Расход электроэнергии увеличивается вследствие затрат на нагревание воды, поляризацию электродов и увеличенное сопротивление. Кроме того, есть трудность в обслуживании электрокоагуляторов за счет зашламления межэлектродного пространства, которое необходимо постоянно прочищать скребками.

Цель исследования – снизить негативные факторы электрокоагуляции, среди которых: трудность в обслуживании электрокоагуляторов при зашламлении электродов, за счет регулирования технологического процесса с помощью устройства для получения асимметричного тока при наличии вибрационного воздействия и снижение энергопотребления.

На получение генерированных в электролит ионов металла влияет форма тока, что известно из литературных источников [12–14]. Для проведения процесса эффективной очистки нефтесодержащих сточных вод в стабильном режиме был разработан способ и устройство [15, 16]. Электрокоагуляция нефтесодержащих стоков асимметричным током была проведена более совершенными методами с помощью устройств [17–19]. Асимметричный переменный ток – это импульсный ток специальной формы с различными величинами амплитуд и длительности положительных и отрицательных полярностей. При электрообработке маслоэмульсионных стоков с разной концентрацией загрязнений можно выбрать оптимальную форму тока, изменяя период T , длительность обратного тока, амплитуду импульсов. Использование асимметричного тока способствует эффективному растворению анода за счет разрушения поляризационной масляной пленки с помощью импульса отрицательной полярности, что позволит обеспечить стабильность процесса обработки нефтесодержащих стоков с сокращением энергозатрат при высоком эффекте очистки.

Форма асимметричного тока представлена на рис. 1.

Материалы и методы исследования. Изучены сравнительные разработки интенсификации электрокоагуляционной очистки сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты с помощью устройства для получения асимметричного тока при наличии вибрационного воздействия. Процесс обезвреживания нефтесодержащих сточных вод проводился в динамических условиях на электрокоагуляторе с рабочим объемом 3200 мл, с плоскими алюминиевыми электродами, рабочая поверхность которых составляла 7,56 дм², а расстояние между пластинами было 10 мм, при рН = 6,8–7. Определение концентрации нефтепро-

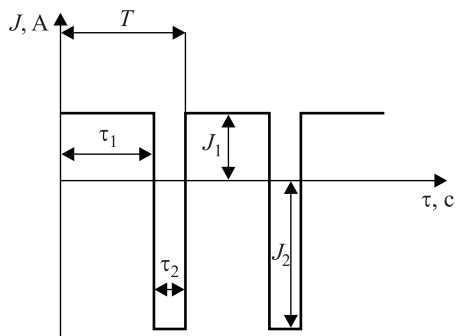


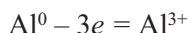
Рис. 1. Форма асимметричного тока
 J_1 – амплитуда прямого тока; J_2 – амплитуда обратного тока; τ_1 – длительность прямого тока, с; τ_2 – длительность обратного тока, с; T – период, с

дуктов проводили с использованием концентратомера КН-2, принцип действия которого основан на спектрофотометрическом определении уровня поглощения нефтепродуктов в инфракрасном спектре [20]. Был изучен химический состав осадка термогравиметрическим методом на приборе NETZSCH STA 449 F1 [21–24].

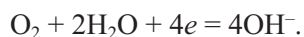
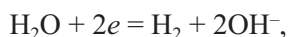
Результаты исследований. На кафедре «Инженерные системы зданий и сооружений» Инженерно-строительного института (ИСИ) ФГАОУ ВО СФУ были проведены сравнительные исследования процесса электрокоагуляции на сточной воде, содержащей эмульгированные нефтепродукты, при использовании двух устройств асимметричным током. Исходные стоки из бака подавались в напорный электролизер $V = 3200$ мл, $F_{ra} = 7,56$ дм² с плоскими алюминиевыми электродами с восходящим движением воды. Расстояние между электродами 10 мм. Вода, проходя через напорный электролизер снизу вверх, поступает в сборный резервуар.

При электрообработке сточной жидкости с растворенными алюминиевыми анодами наблюдаются:

1) процесс на алюминиевом аноде



и электрохимические процессы на катоде



В результате образуется $\text{Al}^{3+} + 3\text{OH}^- = \text{Al}(\text{OH})_3$ – гидроксид, обладающий высокой сорбционной способностью по отношению к частицам нефтепродуктов;

2) электрофоретическое движение частиц и их электрокоагуляция, приводящая к упорядочению агрегатов.

Для получения асимметричного тока авторами были разработаны устройства [18, 19]. Устройство [18] представлено на рис. 2.

Для получения асимметричного тока содержащее устройство управления с источниками питания прямого и обратного тока электролизера соеди-

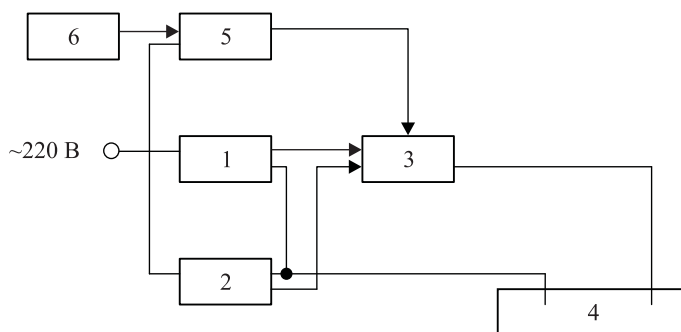


Рис. 2. Структурная схема установки для получения асимметричного тока

- 1 – регулируемый импульсный источник питания (прямой ток);
 2 – регулируемый импульсный источник питания (обратный ток);
 3 – коммутатор; 4 – электролизер; 5 – блок управления (задающий генератор); 6 – компьютер

нено с коммутатором тока, а также с электродами электролизера и блока датчиков, контролирующих параметры очистки сточных вод. Контроль источника питания прямого и обратного тока электролизера выполнен в виде импульсных преобразователей тока, а коммутатор тока в виде ключевого инвертора тока на полупроводниковых приборах. Кроме того, устройство снабжено компьютером, соединенным с блоком датчиков, контролируемых параметры очистки сточных вод, и блоком управления коммутаторов тока электролизера.

Использование асимметричного тока способствует эффективному растворению анода за счет разрушения поляризационной масляной пленки. Стабильность процесса обеспечивает обработку нефтесодержащих сточных вод электрокоагуляцией при асимметричном токе. Определяя концентрацию эмульгированных нефтепродуктов, подбираются режимы асимметричного тока, изменяя периоды, длительность обработки током и амплитуды импульсов.

На рис. 3 представлено устройство [19] для очистки сточных вод асимметричным током, содержащее электролизер, управляемый источник прямого и обратного тока, соединенные с коммутатором тока, подключенным к электродам электролизера, блок вибрационного воздействия, контроллер управления коммутатором тока и источником прямого и обратного тока, блок датчиков контролируемых параметров очищаемых стоков и блок датчиков контролируемых параметров очистки сточных вод.

Данную установку отличает применение вибрационного воздействия на электролизер с частотой 40–60 Гц, блок датчиков контроля состава сточных вод, поступающих на обработку и микропроцессорный контроллер с панелью оператора для контроля и регулирования технологического процесса. Для удаления шлама в межэлектродном пространстве в момент подачи на

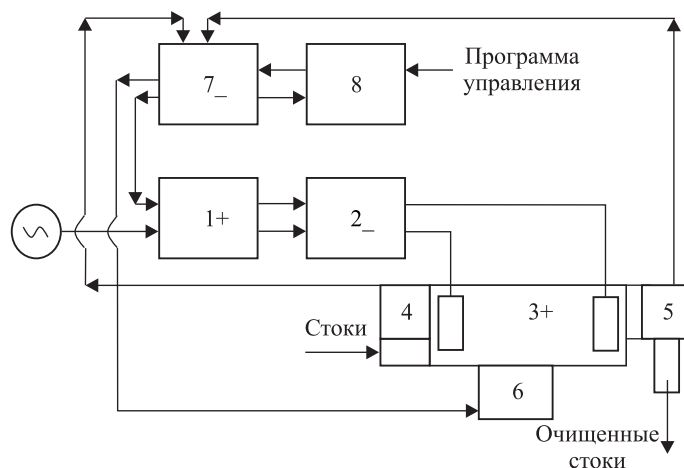


Рис. 3. Структурная схема устройства для получения асимметричного тока

1 – управляемый источник прямого и обратного тока; 2 – коммутатор тока; 3 – электролизер; 4 – блок датчиков, контролирующих параметры поступающих на очистку сточных вод; 5 – блок датчиков, контролирующих параметры очистки сточных вод; 6 – блок вибрационного воздействия; 7 – программируемый контроллер управления; 8 – панель оператора

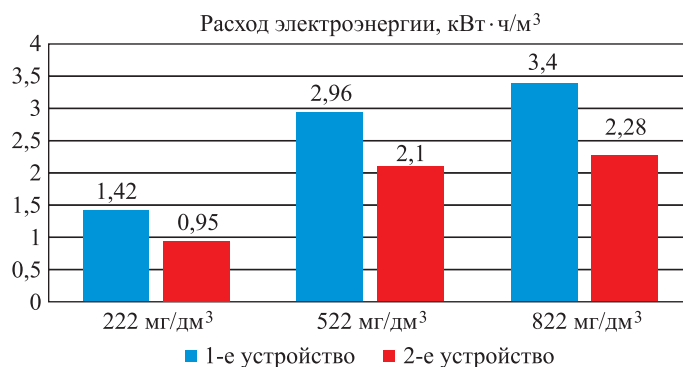


Рис. 4. Сравнение расхода электроэнергии при использовании двух устройств асимметричным током

анод обратного тока система накладывает вибрацию электролизера для увеличения скорости процесса осаждения шлама в межэлектродном пространстве и снижения энергопотребления.

Экспериментальные исследования показали, что при использовании первого устройства с электрообработкой асимметричным током в сравнении со вторым устройством с асимметричным током затраты электроэнергии сокращаются на 33 % (рис. 4).

Таким образом, обработка асимметричным током второго устройства позволяет достигать высокого качества очистки (рис. 5) при более низких затратах электроэнергии.

В табл. 1 приведены сравнительные данные при использовании двух устройств с асимметричным током сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты, и представлены гистограммы на рис. 4, 5 по расходу электроэнергии и качеству очистки стоков.

Результаты и обсуждение. Технический результат второго устройства имеет новые характеристики по отношению к первому устройству, вибрационное воздействие в диапазоне 40–60 Гц позволяет ускорить процесс осаждения шлама с поверхности электродов и снизить стоимость установки, эксплуатационные затраты и возможность автоматизации процесса очистки сточных вод от технологических загрязнений.

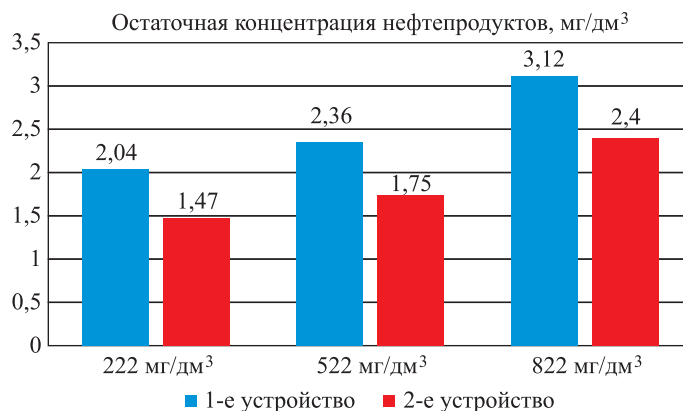


Рис. 5. Сравнение качества очистки при использовании двух устройств асимметричным током

Таблица 1. Сравнительные данные при использовании двух устройств асимметричным током сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты

Способы обработки	Исходная концентрация н.п. $C_{исх}$, мг/дм ³	Режимы обработки		Остаточная конц. н.п. $C_{ост}$, мг/дм ³ , Ξ , %	Расход электроэнергии, кВт · ч/м ³	Время контакта t , мин	Рабочая поверхность электродов, дм ²
		$J_{пр}/J_{обр}$	T/t , с				
Асимметричный ток с помощью первого устройства	222	0,2/0,4	60/10	$C_{ост} = 2,04$ $\Xi = 99,08$	1,42	3	7,56
	522	0,25/0,6	60/10	$C_{ост} = 2,36$ $\Xi = 99,54$	2,96	3,5	7,56
	822	0,3/0,6	60/10	$C_{ост} = 3,12$ $\Xi = 99,62$	3,4	4	7,56
Асимметричный ток с помощью второго устройства	222	0,2/0,4	60/10	$C_{ост} = 1,47$ $\Xi = 99,33$	0,95	2	7,56
	522	0,25/0,6	60/6	$C_{ост} = 1,75$ $\Xi = 99,66$	2,1	2,5	7,56
	822	0,3/0,6	60/10	$C_{ост} = 2,4$ $\Xi = 99,70$	2,28	3	7,56

После электрокоагуляционной обработки асимметричным током второго устройства загрязненная жидкость доводилась до значения pH = 7,8 при добавлении суспензии известкового молока для последующего отделения осадка.

Для интенсификации процесса электрокоагуляции осадок можно обрабатывать асимметричным током, который получается при помощи устройства при наличии вибрационного воздействия. В работе были выполнены дополнительные экспериментальные исследования в пластинчатом электролизере с Al электродами, емкостью 250 мл, рабочей поверхностью электродов $S = 1,79$ дм², полученные результаты приведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, для уменьшения расхода электроэнергии наиболее рационально выбрать интервал длительности прямого и обратного тока – 100/10 с и интервал амплитуды прямого и обратного тока – 0,35/0,7 А.

Применение асимметричного тока способствует снижению поляризации электродов и увеличению выхода ионов Al^{3+} , вызывающих коагуляцию маслосодержащего осадка. Установлено, что применение электрокоагуляции асимметричным током маслосодержащего гидроокисного осадка, образующегося при очистке МЭС, приводит к снижению удельного сопротивления фильтрации в 2 раза, замасленности в 2,5 раза, влажности на 1,4 % и улучшению сорбционных свойств за счет увеличения концентрации коагулирующих ионов Al^{3+} , что позволяет повторно использовать его для очистки МЭС.

Для определения состава осадка после электрокоагуляционной обработки асимметричным током был выполнен дифференциально-термический анализ, который проводился на приборе STA 449 F1 немецкой фирмы NETZSCH, в диапазоне: 30/200 К/мин/1000, в режиме ДСК–ТГ, где ДСК – дифференциальная сканирующая калориметрия, ТГ – кривая изменения

Таблица 2. Результаты исследований электрокоагуляционной обработки осадка асимметричным током с помощью устройства при наличии вибрационного воздействия

Режимы обработки осадка асимметричным током	Плотность осадка, г/см ³	Расход электроэнергии, кВт · ч/м ³	Замасленность осадка, %	Влажность осадка, %	Удельное сопротивление фильтрации, см/г · 10 ¹⁰
До обработки	0,97	–	75,9	99,1	548
Длительность, с $\tau_{пр}/\tau_{обр} = 100/10$	1,12	0,21	28,64	98,59	290
Амплитуда, А $J_{пр} = 0,35; J_{обр} = 0,7$ Время контакта $t = 3$ мин Напряжение $U_{пр} = 2,3$ В; $U_{обр} = 4,8$ В					
Длительность, с $\tau_{пр}/\tau_{обр} = 100/10$ Амплитуда, А $J_{пр} = 0,5; J_{обр} = 1$ Время контакта $t = 3$ мин Напряжение $U_{пр} = 2,3$ В; $U_{обр} = 5$ В	1,14	0,31	37,16	97,7	267
Длительность, с $\tau_{пр}/\tau_{обр} = 60/6$ Амплитуда, А $J_{пр} = 0,5; J_{обр} = 0,8$ Время контакта $t = 3$ мин Напряжение $U_{пр} = 2,3$ В; $U_{обр} = 4$ В	1,12	0,53	42,4	98,4	250

массы, %. С помощью термогравиметрического метода (ТГ) измеряются изменения массы в зависимости от температуры или времени при определенных и контролируемых условиях.

Наряду с дифференциальной сканирующей калориметрией (ДСК) термогравиметрия является признанным методом для анализа веществ. Термограмма осадка представлена на рис. 6.

На кривой (рис. 6) ДСК наблюдаются три эндоэффекта, два из которых связаны с удалением воды при $t = 111,6$ и $333,0$ °С. Эндоэффект при $t = 767,6$ °С характерен для разложения кальцита CaCO_3 . Термоэффекты при $t = 297,0$ и $361,0$ °С указывают на наличие гиббсита $\gamma\text{-Al}(\text{OH})_3$.

Термоэффекты при $t = 311,5$ и $415,0$ °С объясняются полиморфными превращениями оксигидратных форм алюминия, при $t = 511,4$ и до $700,0$ °С наблюдается выгорание органики, при этом масса осадка уменьшается на 15,69 %. Остаточная масса осадка составляет 51,61 %.

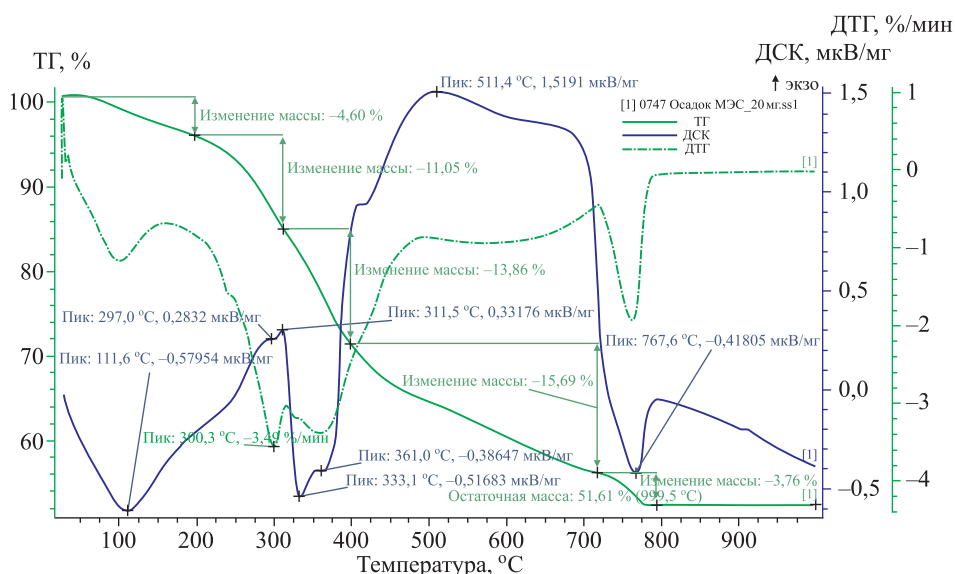


Рис. 6. Термограмма осадка после обработки электрокоагуляцией

Выводы. 1. Достигнуто снижение недостатка электрокоагуляции: трудности в обслуживании электрокоагуляторов при зашламлении электродов, за счет регулирования технологического процесса с помощью устройства для получения асимметричного тока при вибрационном воздействии.

2. Доказано, что при использовании первого устройства для электрообработки асимметричным током нефтесодержащих сточных вод расход электроэнергии при обработке второго устройства асимметричным током снижается на 33 %. Обработка асимметричным током второго устройства позволяет достигать высокого качества очистки при более низких затратах электроэнергии.

3. Установлено, что применение электрокоагуляции асимметричным током маслосодержащего гидроокисного осадка, образующегося при очистке МЭС, приводит к снижению удельного сопротивления фильтрации в 2,5 раза, замасленности в 1,5 раза и влажности на 1,4 %, что способствует улучшению сорбционных свойств за счет увеличения концентрации коагулирующих ионов Al^{3+} и позволяет использовать его повторно для очистки МЭС.

4. Определен химический состав осадка нефтесодержащих сточных вод термогравиметрическим методом на приборе NETZSCH STA 449 F1 для разработки технологии утилизации промышленных отходов, решения проблем ресурсосбережения и охраны окружающей среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Энтелис С.Г., Берминер П.М. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием. М.: Машиностроение, 1995. 496 с.
2. Кульский Л.А., Гребенюк В.Д., Савчук О.С. Электрохимия в процессах очистки воды. Киев: Техника, 1987. 222 с.
3. Яковлев С.В., Краснотородько И.Г., Рогов В.М. Технология электрохимической очистки воды. Л.: Стройиздат, 1987. 312 с.

4. *Урецкий Е.А.* Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий. Брест, 2007. 396 с.
5. *Долina Л.Ф.* Современная технология и сооружения для очистки нефтесодержащих сточных вод: моногр. Днепропетровск: Континент, 2005. 296 с.
6. *Руденко Т.М.* Разработка эффективной технологии очистки сточных вод, содержащих нефтепродукты: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2008. 19 с.
7. Пат. 2288182 Российская Федерация, МКП C02F 1/58, B01D 21/06. Способ очистки нефтесодержащих сточных вод / С.С. Радченко, И.А. Новакова, Ф.С. Радченко, Е.В. Рыбакова; заявитель и патентообладатель ВолгГТУ. № 2005117498/15; заявл. 07.06.2005; опубл. 27.11.2006, Бюл. № 33.
8. *Халтурина Т.И., Руденко Т.М., Чурбакова О.В.* Исследование технологии электрохимической обработки сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты // Изв. вузов. Строительство. 2008. № 8. С. 56–60.
9. *Халтурина Т.И., Чурбакова О.В.* К вопросу электрокоагуляции очистки сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты // Вестн. КрасГАУ. 2016. № 5. С. 91–99.
10. *Халтурина Т.И., Козлова С.А., Чурбакова О.В., Третьяков С.Г.* Оптимизация технологического процесса электрокоагуляционной обработки сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты // Вестн. КрасГАУ. 2017. № 5. С. 51–58.
11. *Еськин А.А., Амехина А.В., Степенчук А.А.* Тенденции интенсификации физико-химических способов очистки нефтесодержащих вод // Технические науки – от теории к практике. 2013. № 22. С. 56–63.
12. *Никифорова Е.Ю., Килимник А.Б.* Закономерности электрохимического поведения металлов при наложении переменного тока // Вестн. ТГТУ. 2009. Т. 15. № 3. С. 604–614.
13. *Корнев Я.И.* Очистка нефтесодержащих сточных вод с применением импульсного электрического разряда // Водоочистка. 2014. № 1. С. 29–34.
14. Пат. 2307797 Российская Федерация, МПК C02F 1/463, C02F 101/32. Способ электрохимической очистки промышленных сточных вод от взвешенных частиц и нефтепродуктов / Д.Г. Господинов, А.В. Шкарин; заявитель и патентообладатель ЗАО «ПО Геоэкология». № 2005129865/15; заявл. 26.09.2005, опубл. 10.10.2007, Бюл. № 28. 6 с.
15. АС СССР, МКИ СО 2F 1/46. № 981240. Способ очистки сточных вод от нефтепродуктов / Т.И. Халтурина, Т.Я. Пазенко, Г.М. Зограф, Л.В. Стафейчук; заявитель Красноярский политехнический институт. № 2895497/23-26; заявл. 18.01.1980, опубл. 15.12.1982, Бюл. № 46. 16 с.
16. АС СССР, МПК Н 02 М 9/06. Устройство для получения асимметричного тока / Т.И. Халтурина, Г.М. Зограф, Т.Я. Пазенко; заявитель Красноярский инженерно-строительный институт. № 4419589/24-07; заявл. 05.05.1988, опубл. 02.07.1990, Бюл. № 5. 3 с.
17. АС СССР, МПК Н 02 М 9/06. № 1056409. Устройство для получения асимметричного тока / Т.И. Халтурина, Г.М. Зограф, Т.Я. Пазенко, Б.Ф. Турутин, А.А. Александров; заявитель Красноярский политехнический институт. № 3492112/24-07; заявл. 10.09.1982, опубл. 23.11.1983, Бюл. № 43. 3 с.
18. Пат. № 2431231 Российская Федерация, МПК H02M9/06. Устройство для получения асимметричного тока / Т.И. Халтурина, Ю.В. Гаврилова, О.В. Чурбакова, Т.А. Курилина; заявитель и патентообладатель Сибирский федеральный университет. № 2010131777/07; заявл. 28.07.2010, опубл. 10.10.2011, Бюл. 28.
19. Пат. № 2701938 Российская Федерация, МПК H02M9/06. Устройство для очистки сточных вод асимметричным током / С.Г. Третьяков, Т.И. Халтурина, А.С. Берсенева, М.Г. Мотков; заявитель и патентообладатель Сибирский федеральный университет. № 2019108548; заявл. 25.03.2019, опубл. 02.10.2019, Бюл. № 28.

20. ПНД Ф 14.1:2:4.168–2000. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах питьевых, природных и очищенных сточных вод методом ИКС с использованием концентратомера КН-2. Введ. 27.12.2011; актуализирован 01.01.2018. М.: ООО «ПЭП «СИБЭКОПРИБОР», 2012. 23 с.
21. *Иванова В.П., Касатов Б.П., Красавина Т.Н., Розилова Е.Л.* Термический анализ минералов и горных пород. М.: Недра, 1974. 399 с.
22. *Брандон Д., Каплан У.* Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля. М.: Техносфера, 2004. 384 с.
23. *Туровский И.С.* Осадки сточных вод. Обезвоживание и обеззараживание. М.: ДеЛи принт, 2008. 375 с.
24. *Соколов Л.И.* Переработка и утилизация нефтесодержащих отходов: моногр. 2-е изд. испр. и доп. М.: Инфра-Инженерия, 2017. 160 с.

Третьяков Сергей Геннадьевич, асп.; E-mail: tsg.

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Халтурина Тамара Ивановна, канд. хим. наук, проф.; E-mail: Thal1965@yandex.ru

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Войтов Евгений Леонидович, д-р техн. наук, доц.; E-mail: viv@sibstrin.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Чурбакова Ольга Викторовна канд. техн. наук, доц.;

E-mail: ochurbacova@mail.ru

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Получено 17.02.2021

Tretyakov Sergey Gennadievich, Post-graduate Student; E-mail: tsg.18@mail.ru

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Khalturina Tamara Ivanovna, PhD, Professor; E-mail: Thal1965@yandex.ru

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Voytov Evgeny Leonidovich, DSc, Ass. Professor; E-mail: viv@sibstrin.ru

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Churbakova Ol'ga Viktorovna, PhD, Ass. Professor;

E-mail: ochurbacova@mail.ru

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

COMPARATIVE DEVELOPMENTS IN THE INTENSIFICATION OF ELECTROCOAGULATION TECHNOLOGY FOR OIL-EMULSION WASTEWATER TREATMENT

Experimental studies of the electrocoagulation process were carried out by comparing devices with asymmetric current on model drains containing emulsified petroleum products. The possibility of electric treatment of an oil-containing sediment with an asymmetric current to reduce the specific resistance of filtration, oil content and volume is shown. The composition of the of electrocoagulation treatment sludge of wastewater containing emulsified petroleum products was determined for the development of a technology for subsequent disposal.

Key words: emulsified oil products, waste water, electrocoagulation, asymmetric alternating current, vibration exposure, device, sediment, thermogravimetric analysis.

REFERENCES

1. *Entelis S.G., Berminer P.M.* Smazochno-okhlazhdayushchiye tekhnologicheskiye sredstva dlya obrabotki metallov rezaniyem [Lubricating and cooling technological means for metal cutting]. Moscow, Mechanical engineering, 1995. 496. (in Russian)
2. *Kul'skiy L.A., Grebenyuk V.D., Savchuk O.S.* Elektrokimiya v protsessakh ochistki vody [Electrochemistry in water purification processes]. Kiev, Technica, 1987. 222 p. (in Russian)
3. *Yakovlev S.V., Krasnoborod'ko I.G., Rogov V.M.* Tekhnologiya elektrokhimicheskoy ochistki vody [Technology of electrochemical water purification]. Leningrad, Stroyizdat, 1987. 312 p. (in Russian)
4. *Uretskiy E.A.* Resursosberegayushchiye tekhnologii v vodnom khozyaystve promyshlennykh predpriyatiy [Resource-saving technologies in water economy of industrial enterprises]. Brest, 2007. 396 p. (in Russian)
5. *Dolina L.F.* Sovremennaya tekhnologiya i sooruzheniya dlya ochistki neftesoderzhashchikh stochnykh vod: monografiya [Modern technology and facilities for oil-containing wastewater treatment: monograph]. Dnepropetrovsk, Kontinent, 2005. 296 p. (in Russian)
6. *Rudenko T.M.* Razrabotka effektivnoy tekhnologii ochistki stochnykh vod, sodержashchikh nefteprodukty: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Development of an effective technology for the treatment of wastewater containing petroleum product: abstract of the dis. ... PhD]. Novosibirsk, 2008. 19 p. (in Russian)
7. Pat. 2288182 Russian Federation, MKP C02F 1/58, B01D 21/06. Sposob ochistki neftesoderzhashchikh stochnykh vod [Method for treating oily wastewater]. S.S. Radchenko, I.A. Novakova, F.S. Radchenko, E.V. Rybakova; applicant and patentee of VolGASU. No. 2005117498/15; appl. 07.06.2005; publ. 27.11.2006, Bull. No. 33. (in Russian)
8. *Khalturina T.I., Rudenko T.M., Churbakova O.V.* Issledovaniye tekhnologii elektrokhimicheskoy obrabotki stochnykh vod, sodержashchikh emul'girovannyye nefteprodukty [Research of the technology of electrochemical treatment of wastewater containing emulsified petroleum products]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2008. No. 8. Pp. 56–60. (in Russian)
9. *Khalturina T.I., Churbakova O.V.* K voprosu elektrokoagulyatsii ochistki stochnykh vod, sodержashchikh emul'girovannyye nefteprodukty [Electrocoagulation wastewater containing emulsified oil products]. Vestnik KrasGAU [Bulletin of KrasGAU]. 2016. No. 5. Pp. 91–99. (in Russian)
10. *Khalturina T.I., Kozlova S.A., Churbakova O.V., Tret'yakov S.G.* Optimizatsiya tekhnologicheskogo protsessa elektrokoagulyatsionnoy obrabotki stochnykh vod, sodержashchikh emul'girovannyye nefteprodukty [Optimization of electrocoagulation process for the treatment of wastewater containing emulsified oil products]. Vestnik KrasGAU [Bulletin of KrasGAU]. 2017. No. 5. Pp. 51–58. (in Russian)
11. *Es'kin A.A., Amekhina A.V., Stepenchuk A.A.* Tendentsii intensivifikatsii fiziko-khimicheskikh sposobov ochistki neftesoderzhashchikh vod [Trends of intensification of physical-chemical methods of purification of oil-containing water]. Tekhnicheskiye nauki – ot teorii k praktike [Technical Sciences – from theory to practice]. 2013. No. 22. Pp. 56–63. (in Russian)
12. *Nikiforova E.Yu., Kilimnik A.B.* Zakonomernosti elektrokhimicheskogo povedeniya metallov pri nalozhenii peremennogo toka [Regularities of the electrochemical behavior of metals when applying alternating current]. Vestnik TGTU [Bulletin of TSTU]. 2009. Vol. 15. No. 3. Pp. 604–614. (in Russian)
13. *Kornev Ya.I.* Ochistka neftesoderzhashchikh stochnykh vod s primeneniyyem impul'snogo elektricheskogo razryada [Purification of oil-containing wastewater with

- the use of pulsed electric discharge]. *Vodoochistka [Water treatment]*. 2014. No. 1. Pp. 29–34. (in Russian)
14. Pat. 2307797 RF, IPC C02F 1/463, C02F 101/32. Sposob elektrokhimicheskoy ochistki promyshlennykh stochnykh vod ot vzheshennykh chastits i nefteproduktov [Method of electrochemical purification of industrial wastewater from suspended particles and petroleum products]. D.G. Gospodinov, A.V. Shkarin; applicant and patent holder of JSC «PO Geoecology». No. 2005129865/15; appl. 26.09.2005; publ. 10.10.2007, Bull. No. 28. 6 p. (in Russian)
 15. Copyright certificate USSR. No. 981240, MKI SO 2F 1/46. Sposob ochistki stochnykh vod ot nefteproduktov [Method of wastewater treatment from petroleum products]. T.I. Khalturina, T.Ya. Pazenko, G.M. Zograf, L.V. Stafeychuk; applicant Krasnoyarsk polytechnic institute. No. 2895497/23-26; appl. 18.01.1980; publ. 15.12.1982, Bull. No. 46. 16 p. (in Russian)
 16. Copyright certificate USSR. No. 981240, MKI HO2 M9/06. Ustroystvo dlya polucheniya asimmetrichnogo toka [Device for producing asymmetric current]. T.I. Khalturina, G.M. Zograf, T.Ya. Pazenko; applicant Krasnoyarsk polytechnic institute. No. 4419589/24-07; appl. 05.05.88; publ. 02.07.1990, Bull. No. 5. 3 p. (in Russian)
 17. Copyright certificate USSR. No. 1056409, MKI HO2 M9/06. Ustroystvo dlya polucheniya asimmetrichnogo toka [Device for producing asymmetric current]. T.I. Khalturina, G.M. Zograf, T.Ya. Pazenko, B.F. Turutin, A.A. Aleksandrov; applicant Krasnoyarsk polytechnic institute. No. 3492112/24-07; appl. 10.09.82; publ. 23.11.1983, Bull. No. 43. 3 p. (in Russian)
 18. Pat. No. 2431231 Russian Federation, IPC H02M9/06. Ustroystvo dlya polucheniya asimmetrichnogo toka [Device for obtaining asymmetric current]. T.I. Khalturina, Yu.V. Gavrilova, O.V. Churbakova, T.A. Kurilina; applicant and patentee of SFU. No. 2431231; appl. 28.07.2010, publ. 10.10.2011, Bull. No. 28. (in Russian)
 19. Pat. No. 2701938 Russian Federation, Ustroystvo dlya ochistki stochnykh vod asimmetrichnym tokom [Device for wastewater treatment by asymmetric current]. S.G. Tret'yakov, T.I. Khalturina, A.S. Bersenev, M.G. Motkov; applicant and patentee of SFU. No. 2019108548; appl. 25.03.2019; publ. 02.10.2019, Bull. No. 28. (in Russian)
 20. HDPE F 14.1:2:4.168–2000. Metodika vypolneniya izmereniy massovoy kontsentratsii nefteproduktov v probakh pit'evykh, prirodnykh i ochishchennykh stochnykh vod metodom IKS s ispol'zovaniyem konsentratomera KN-2 [Method for measuring the mass concentration of petroleum products in samples of drinking, natural and treated wastewater by the ICS method using the KN-2 concentration meter]. Introduced 27.12.2011; updated 01.01.2018. Moscow, LLC «PEP "SIBEKOPRIBOR"», 2012. 23 p. (in Russian)
 21. *Ivanova V.P., Kasatov B.P., Krasavina T.N., Rozinova E.L.* Termicheskiy analiz mineralov i gornykh porod [Thermal analysis of minerals and rocks]. Moscow, Nedra, 1974. 399 p. (in Russian)
 22. *Brandon D., Kaplan U.* Mikrostruktura materialov. Metody issledovaniya i kontrolya [Microstructure of materials. Methods of research and control]. Moscow, Technosphere, 2004. 384 p.
 23. *Turovskiy I.S.* Osadki stochnykh vod. Obezvozhivaniye i obezzarazhivaniye [Sewage sludge. Dehydration and disinfection]. Moscow, DeLi print, 2008. 375 p. (in Russian)
 24. *Sokolov L.I.* Pererabotka i utilizatsiya neftesoderzhashchikh otkhodov: monografiya [Processing and utilization of oil-containing waste: monograph]. 2nd ed. rev. and add. Moscow, 2017. 160 p. (in Russian)