



УДК 628. 16. 087

**Захватов Г.И.** – доктор технических наук, профессор

E-mail: [avtel@kgasu.ru](mailto:avtel@kgasu.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

### **Воздействие электрических факторов на эффективность процесса электронейтрализации водных эмульсий**

#### **Аннотация**

*Постановка задачи.* Работа посвящена решению вопроса о влиянии различных электрических факторов на процесс разделения водных эмульсий методом электронейтрализации. В качестве таких факторов выбраны электродная плотность тока, частота и форма электрических импульсов.

*Результаты.* Основным параметром, влияющим на эффективность процесса, является электродная плотность тока. Установлено, что оптимальный диапазон плотностей тока находится в диапазоне 0,1-0,3 А·дм<sup>-2</sup>. При более низких плотностях тока эффективность процесса существенно уменьшается. Более высокие плотности тока увеличивают эффективность процесса незначительно. Частота тока также играет существенную роль в процессе электронейтрализации. При частотах ниже 40 Гц эффективность процесса существенно уменьшается, а увеличение частоты выше 540 Гц практически не влияет на эффективность процесса. Форма электрических импульсов не оказывает какого-либо влияния при условии, если они являются периодическими и биполярными. Униполярные и асимметричные импульсы резко снижают эффективность процесса.

*Выводы.* Для практического использования метода электронейтрализации оптимальным диапазоном плотностей тока является 0,1-0,3 А·дм<sup>-2</sup>, частота тока 50-60 Гц, при использовании биполярных периодических сигналов. Оптимизация метода позволит усилить его эффективность для использования в процессах очистки сточных вод на предприятиях строительной отрасли и других строительных объектах.

**Ключевые слова:** водные эмульсии, метод электронейтрализации, устойчивость водных эмульсий.

Процесс электрообработки водных систем достаточно известен и находит практическое применение в различных производствах. Наиболее распространенными и исследованными из этих методов являются электрокоагуляция и электрофлотация [1-4]. Наиболее широко эти методы применяются для очистки сточных вод, нейтрализации отработанных растворов и изредка в процессах регенерации. Метод электронейтрализации может быть использован, как для очистки сточных вод от нефтепродуктов, так и для регенерации гальванохимических растворов [5-9]. Особенностью данного метода является использование переменного электрического поля, позволяющее разрушать устойчивость эмульсий при низких энергетических затратах, отсутствие дополнительных побочных отходов в сочетании с высокой эффективностью. В процессе не используются растворимые электроды, отсутствует пенно и газообразование. Метод электронейтрализации использует механизм непосредственного разрушения электрического заряда частиц эмульсии, препятствующего их флокуляции и последующей флотации и разделению эмульсии. Методы электрокоагуляции и электрофлотации принципиально отличаются в этом отношении.

Процессы электрокоагуляции связаны с использованием растворимых анодов, что является главным недостатком метода. Помимо расхода металла, в процессе образуется большое количество сильно обводненных соединений. Образующийся аморфный осадок требует значительных затрат на утилизацию. Выделение водорода в процессе делает его взрывоопасным.

При электрофлотации не используются растворимые электроды. Но главный недостаток метода малая эффективность. В связи с этим, метод электрофлотации, как правило, используется в комбинации с другими методами.

Процесс разрушения устойчивости водных эмульсий органических веществ в переменном электрическом поле зависит от множества факторов и, прежде всего, на эффективность процесса влияют электрические параметры, поскольку они, в основном, определяют механизм процесса. Данный процесс определяет возможность использования электронейтрализационного метода как для очистки сточных вод от нефтепродуктов, так и для регенерации ряда растворов. Влияние неэлектрических факторов на процесс [10] также весьма значительно, но оно не зависит принципиально от механизма процесса и связано с характером самой эмульсии или гидродинамическими параметрами процесса. Энергетическое воздействие электрического поля будет зависеть, в основном, от электродной плотности тока и, в связи с этим, она является основной характеристикой процесса электронейтрализации. Естественно влияние этой характеристики будет зависеть от других параметров процесса. Кроме того, определенную роль играет конструкция установки. Установки могут быть выполнены, как с вертикальной, так и с горизонтальной электродной системой. Установки с горизонтальной электродной системой обеспечивают несколько более высокую эффективность процесса при прочих равных условиях, хотя установки с вертикальной электродной системой более удобны в эксплуатации. Однако влияние электродной плотности тока на процесс в обоих случаях довольно близкое.

Влияние материала электродов также играет существенную роль. Поскольку метод электронейтрализации связан с использованием нерастворимых электродов, то, с практической точки зрения могут использоваться электроды из титана или алюминиевых сплавов. При этом, алюминиевые электроды значительно менее устойчивы и могут использоваться далеко не во всех случаях. Титановые электроды в некоторых случаях должны быть защищены от разрушения путем специальной термохимической обработки.

В данной работе исследования проводились, в основном, на эмульсиях, приготовленных на основе инструментальных масел И-20 и И-40. Следует отметить, что для эмульсий на основе октана были получены близкие результаты. Эмульсии готовились путем электромеханического эмульгирования с последующим отстаиванием в течение суток для отделения неустойчивой части. Достоверность результатов обеспечивалась двух-трех кратным дублированием опытов. В случае значительного разброса данных эксперимент проводился до получения устойчивых значений.

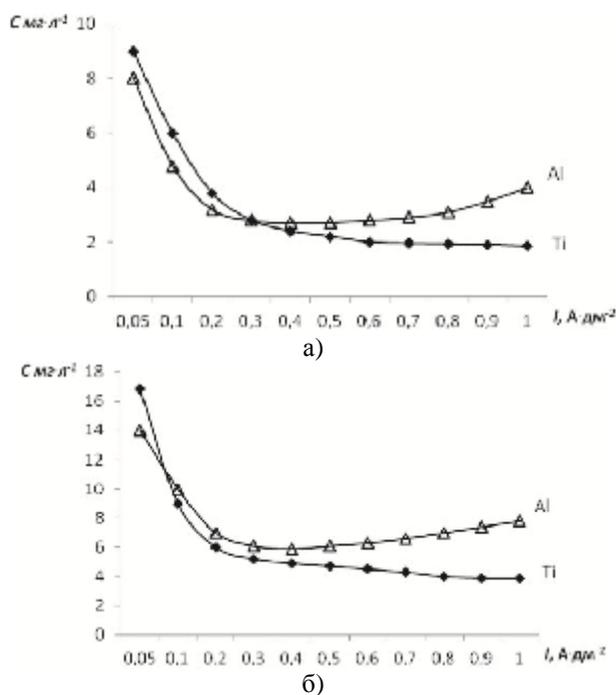


Рис. 1. Зависимость остаточной концентрации масла И-40 после обработки эмульсии при разных электродных плотностях тока. Установка с вертикальными электродами:

а – эмульсия с начальным содержанием масла  $20 \pm 1$  мг·л<sup>-1</sup>;  
б –  $93 \pm 2$  мг·л<sup>-1</sup>;  $v = 2,5$  см·мин<sup>-1</sup>, межэлектродное расстояние 5 см

В качестве источников питания использовался генератор синусоидальных и прямоугольных импульсов, а также собственные установки. На рис. 1 представлена зависимость остаточного содержания масла эмульсии И-20 после электрообработки от электродной плотности тока. Как видно из приведенных результатов, рис. 1, эффективность процесса с увеличением плотности тока возрастает, хотя этот рост не является однозначным. В диапазоне плотностей тока от  $0,05 \text{ А·дм}^{-2}$  до  $0,2 \text{ А·дм}^{-2}$  эффективность процесса, за основу которой берется остаточное содержание масла в эмульсии, резко возрастает. С увеличением плотности тока в диапазоне свыше  $0,2 \text{ А·дм}^{-2}$  до  $0,4-0,5 \text{ А·дм}^{-2}$  эффективность процесса возрастает незначительно, а, в дальнейшем практически прекращается. Таким образом, энергетическое воздействие (плотность тока) действительно играет наиболее важную роль, с точки зрения разрушения устойчивости эмульсии: чем выше энергетическое воздействие, тем более эффективен процесс. При низких энергетических воздействиях эффективность процесса очень мала.

На рис. 1а и 1б видно возрастание эффективности (снижение остаточного содержания масла) с возрастанием плотности тока и последующая стабилизация процесса. Следует отметить некоторое ухудшение результатов при высоких плотностях тока в установках с электродами из алюминия. Это можно объяснить началом растворения алюминия при высоких плотностях тока.

Объяснением прекращения возрастания эффективности процесса при высоких плотностях тока может быть то обстоятельство, что, при высоких плотностях тока наступает, по-видимому, разрушение поверхностного заряда даже у наиболее устойчивых частиц эмульсии. При этом, анионы, образующие отрицательный заряд этих частиц, полностью теряют связь с частицами эмульсии, которые затем флокулируют до крупных размеров за счет термокинетических сил и сил Ван-дер-Ваальса. Частицы, достигающие критических размеров, флокуруются в верхний слой эмульсии, в результате чего происходит ее расслоение. Таким образом, плотность тока  $0,1-0,2 \text{ А·дм}^{-2}$  является минимальной с энергетической точки зрения.

Следует отметить несколько неожиданное уменьшение эффективности при больших плотностях тока для установок с алюминиевыми электродами. Это можно объяснить частичным растворением электродов с образованием гидроксида алюминия, стабилизирующего эмульсию. Необходимо отметить, что приведенные данные связаны с использованием частоты тока 50 Гц, что наиболее удобно с точки зрения использования промышленных источников тока. С другой стороны, естественным было исследовать влияние частоты на эффективность процесса. На рис. 2 представлены зависимость эффективности процесса от частоты в исследованном диапазоне от 0,02 до 1,0 кГц.

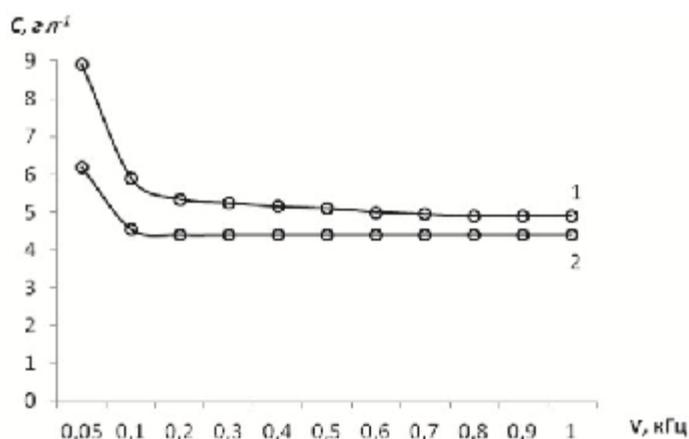


Рис. 2. Влияние частоты тока на остаточное содержание масла в эмульсии после электрообработки: 1 – для масла МВП, 2 – масла И-20,  $I = 0,1 \text{ А·дм}^{-2}$ ,  $v = 10 \text{ см·мин}^{-1}$ ,  $d = 7 \text{ см}$

Из данных рис. 2 очевидно, что для двух исследованных эмульсий на основе промышленных масел МВП и И-20, частота практически не влияет на эффективность процесса, за исключением области низких частот ниже 40 Гц. Можно предположить, что

это вызвано релаксацией поверхностного заряда частиц при низких частотах. Таким образом, промышленная частота тока 50 (60) Гц является наиболее приемлемой с технической точки зрения.

Во всех проведенных исследованиях использовался синусоидальный переменный ток. Естественным было проверить, влияет ли форма электрического сигнала на эффективность процесса. Для исследования были взяты, как периодические, симметричные по форме напряжения, так и асимметричные. В качестве источников напряжения использовались стандартные генераторы электрических сигналов, так и собственные установки. Форма сигнала контролировалась осциллографом. Результаты представлены на рис. 3.

Как видно из данных рис.3, форма использование периодического симметричного напряжения мало влияет на эффективность процесса (кривые 1, 2, 3). В то же время использование асимметричного напряжения (кривая 4), или униполярного напряжения (кривые 5 и 6) приводит к резкому ухудшению результатов, с точки зрения эффективности процесса разделения эмульсии.

Объяснение полученных результатов может быть следующим. Униполярные импульсы делают процесс электрообработки близким к электролизу. А это фактически означает, что используется принцип электрофлотации. Электрофлотация в чистом виде, как уже отмечалось ранее, для разделения эмульсий малоэффективна. Этот вывод подтверждается экспериментальными результатами.

Несколько лучшие результаты получены с использованием асимметричных напряжений. В качестве источника асимметричного напряжения использовалась установка, работающая по принципу наложения постоянного напряжения на переменное с использованием разделительных R,C элементов. Наличие постоянной составляющей, по-видимому, снижает эффективность процесса.

Форма же симметричных периодических импульсов на эффективности процесса практически не сказывается, так как механизм процесса не меняется.

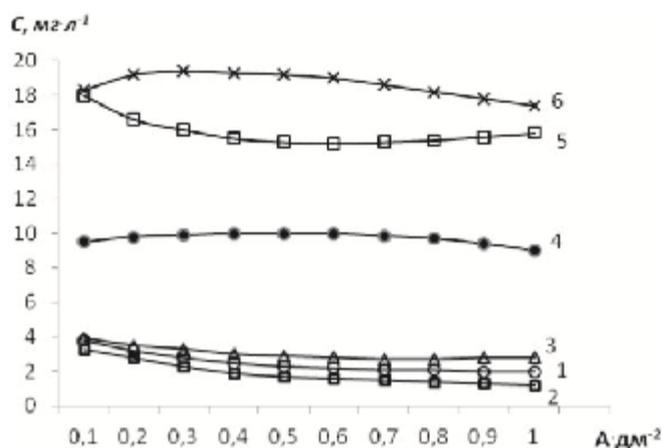


Рис. 3. Остаточное содержание масла И-20 в эмульсии, обработанной переменным током с разной формой задающего напряжения (частота 50 Гц) при разных плотностях тока: 1 – синусоидальное напряжение, 2 – прямоугольные симметричные импульсы, 3 – трапециевидные импульсы, 4 – синусоидальное асимметричное напряжение (дополнительное наложение постоянного тока  $I = 0,5$  A·дм<sup>2</sup> на переменный синусоидальный ток, 5 – синусоидальные импульсы с однополупериодным выпрямлением и 6 – двухполупериодным выпрямлением

Разумеется, приведенные данные в определенной степени не являются исчерпывающими, так как исследование было ограничено конкретными рамками. Например, частотный диапазон был ограничен по верхнему пределу частотой 1 кГц. Нельзя исключать возможность, что при частотах порядка десятка и выше кГц, эффективность процесса разделения эмульсий данным методом может возрасти. То же самое можно сказать про электронейтрализацию водных эмульсий на основе других органических веществ, которые не были исследованы. Следует, правда, отметить, что

выборочные эксперименты были проделаны с эмульсиями на основе октана. Были получены близкие результаты, которые не приведены в данной статье, ввиду недостаточности экспериментальных данных. Выбор для исследования эмульсий на основе технических масс был мотивирован тем, что они являются наиболее распространенной формой органических загрязнений.

Что касается результатов практического использования метода электронейтрализации, то можно однозначно утверждать, что они подтверждают приведенные здесь результаты, касающиеся влияния плотности тока на процесс. Промышленные установки, как правило, используются для смешанных стоков. Тем не менее, плотности тока на уровне 0,1-0,2 А·дм<sup>-2</sup> являются достаточными для эффективной работы установок. Следует, тем не менее, отметить, что для некоторых устойчивых эмульсий целесообразно использовать более высокие плотности тока, но это отдельная тема.

Следует обратить особое внимание на результаты по использованию различных источников питания. Как это было установлено экспериментально, форма биполярных периодических импульсов практически не сказывается на эффективности процесса разделения эмульсий. Это подчеркивает специфику метода, так как именно этим обеспечивается большая эффективность метода электронейтрализации по сравнению с электрофлотацией и электрокоагуляцией. Именно этому униполярных импульсов неэффективно, поскольку сводит процесс к электролизу со всеми вытекающими последствиями. Даже периодическое напряжение, имеющее постоянную составляющую малоэффективно с этой точки зрения, хотя и показывает лучшие результаты по сравнению с процессами, использующими униполярные импульсы.

### **Выводы**

Электрические параметры играют определяющую роль в процессе электронейтрализации, применяемом для разделения водных эмульсий органических веществ. Из исследованных параметров основным является электродная плотность тока. Диапазон плотностей тока 0,1-0,2 А·дм<sup>-2</sup> является оптимальным с практической точки зрения.

Частота импульсов также имеет большое значение в процессе электронейтрализации. При этом, частоты ниже 40 Гц резко ухудшают эффективность процесса. Увеличение частоты выше 60 Гц не сказывается на эффективности в исследованном диапазоне частот. Для практических целей стандартная частота 50 Гц является оптимальной, так как позволяет использовать самые разнообразные источники переменного напряжения

Форма электрических сигналов не влияет на эффективность процесса разделения эмульсий, если эти сигналы являются периодическими биполярными. Униполярные источники питания, а также асимметричное напряжение являются неприемлемыми, ввиду очень малой эффективности. На практике можно использовать в качестве энергообеспечения процесса любые источники синусоидального напряжения с частотой 50 Гц.

### **Список библиографических ссылок**

1. Vflocootian V., Vasoonian H. G., Moosazadeh. Performance evaluation of elctrocoagulation process using iron-red electrodes for removing hardness from drinking water // *Desalination*, 2010, № 255. P. 67–71.
2. Mansour S. E., Hasieb I. H. I., Khalef H. A. Removal Of cobalt from drinking water by alternating current coagulation // *Journal of Applied Sciences*. 2012. № 12. P. 78–79.
3. Nandi B. K., Patel S. Removal of brilliant green from aqueous solution by electrocoagulation using aluminum electrodes: experimental, kinetics, modeling // *Separation Science technology*. 2014. № 49. P. 601–612.
4. Merzouk B., Madani K., Seki A. Using electrocoagulation-electroflotation technology to treat synthetic solution and textile wastewater, two case studies // *Desalination*. 2010. № 250. P. 573–577.

5. Захватов Г. И., Никитин Ю. В. Использование электронейтрализационного метода очистки стоков от нефтепродуктов на предприятиях электроэнергетики // Энергетика. 2015, № 7. С. 33–35.
6. Захватов Г.И., Никитин Ю.В. Электронейтрализационные установки для очистки сточных вод от нефтепродуктов : сб. статей IX Международной научно-практической конференции «Экология и безопасность жизнедеятельности» / ПГСХА, 2009. С. 86–88.
7. Захватов Г. И. Регенерация растворов как метод создания замкнутых технологических циклов // Известия КГАСУ. 2011. № 2 (16). С. 262–265.
8. Захватов Г. И. Опыт очистки сточных вод от нефтепродуктов и взвешенных веществ в энергетике // Известия КГАСУ. 2013. № 4 (26). С. 202–206.
9. Минаков В. В., Кривенко С. М., Никитина Т. О. Новые технологии очистки от нефтяных загрязнений // Экология и промышленность России. 2002. № 5. С. 7–9.
10. Захватов Г. И. Влияние pH среды на устойчивость водных эмульсий при электрообработке // Успехи современной науки. 2016. № 11. С. 170–172.

**Zahvatov G.I.** – doctor of technical science professor

E-mail: [avtel@kgasu.ru](mailto:avtel@kgasu.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

### **The force of electrical factors on efficiency of electroneutralization process for water emulsions**

#### **Abstract**

*Problem statement.* The work has a course to decide the question about influence of different electric factors on the process of water emulsion dividing by electroneutralization method. Such factors were electrode density of current, frequency and the form of electric impulses.

*Results.* The base parameter which influence on the process is electrode density of current, It is established optimal range of current density. It is about 0,1-0,3 A·dm<sup>-2</sup>. The efficiency is decreasing for lower current density. Higher current density gives negligible increasing of process efficiency. Current frequency plays a considerable role in the electroneutralization process too. The efficiency of process is decreasing for frequencies lower 40 Hz. The increasing of frequency more 540 Hz does not influence on process practically. The form of electric impulses does not influence significantly, if that impulses are bipolar and periodical. Unipolar and asymmetrical impulses dramatically reduce the efficiency of the process.

*Conclusions.* For the practical use of the electroneutralization method, the optimal range of current densities is 0,1-0,3 A·dm<sup>-2</sup>, current frequency 50-60 Hz, using bipolar periodic impulses. The optimization of method allow the increasing his efficiency for using in the processes of waste water cleaning on building plants and another buildings.

**Keywords:** water emulsions, electroneutralization method, stability of water emulsions.

#### **References**

1. Vflocootian V., Vasoonian H. G., Moosazadeh. Performance evaluation of elctrocoagulation process using iron-red electrodes for removing hardness from dritking water // Desalination, 2010, № 255. P. 67–71.
2. Mansour S. E., Hasieb I. H. I., Khalef H. A. Removal Of cobalt from drinking water by alternating current coagulation // Journal of Applied Sciences. 2012. № 12. P. 78–79.
3. Nandi B. K., Patel S. Removal of brilliant green from aqueous solution by electrocoagulation using aluminum electrodes: experimental, kinetics, modeling // Separation Science technology. 2014. № 49. P. 601–612.

4. Merzouk B., Madani K., Seki A. Using electrocoagulation-electroflotation technology to treat synthetic solution and textile wastewater ,two case studies // *Desalination*. 2010, № 250. P. 573-577.
5. Zakhvatov G. I., Nikitin Y. Y. The using electroneutralization cleaning method of waster water from the oil products on electroenergy plants // *Energetica*. 2015. № 7. P. 33–35.
6. Zakhvatov G. I., Nikitin Y. Y. The electroneutralization supplies for waste water cleaning from oil products : A collection of articles of the IX International Scientific and Practical Conference «Ecology and Life Safety» / PGSHA. Penza, 2009. P. 86–88.
7. Zakhvatov G. I. The regeneration of solutions as method for creation exclusive technologic cycles // *Izvestiya KGASU*. 2011. № 2 (16). P. 262–265..
8. Zakhvatov G. I. The experience for waste water cleaning from oil products and weight substances power industry // *Izvestiya KGASU*. 2013. № 4. P. 202–206.
9. Minakov V. V., Krivenko S. M., Nikitina N. O. New technologies of oil cleaning // *Ecologiya i promishlennosti Rossiyi*. 2002. № 5. P. 7–9.
10. Zakhvatov G. I. Influence of pH environment on the stability of water emulsions after electrical treatment // *Uspekhi sovremennoi nauki*. 2016. № 11. P. 170–172.