

## СЕПАРАЦИЯ СЛАБОПРОВОДЯЩИХ СУСПЕНЗИЙ В БЕГУЩЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

**Ключевые слова:** очистка, сепарация, суспензия, электрическое поле, электрод.

**Аннотация.** Представлены результаты экспериментальных исследований по сепарации подсолнечного масла в бегущем электрическом поле. Определены параметры системы напряжений для питания электродных систем сепараторов периодического и непрерывного действия.

Решение народно-хозяйственной задачи повышения эффективности очистки и сепарации жидких продуктов агропромышленного производства включает в себя поиск новых и совершенствование существующих методов и технических средств очистки и сепарации слабопроводящих суспензий. К таким жидкостям относятся всевозможные растительные масла, животные жиры, их растворы, моторные масла, углеводородные топлива, биотоплива растительного происхождения, трансформаторное масло и др. Все эти продукты представляют собой сложные гетерогенные системы на основе слабопроводящей жидкости. Очистка нефтепродуктов направлена на удаление сопутствующих веществ, которые снижают эксплуатационные показатели технических жидкостей, масел и топлив. Из растительных масел удаляют как пищевые компоненты, которые на этапе сохранения окисляются и вызывают помутнение, дополнительные привкусы и запахи, снижающие потребительские свойства продукта, так и непищевые примеси.

Один из путей повышения эффективной очистки и сепарации жидких продуктов – применение электрических методов разделения дисперсных систем. В основу электросепарации положено осаждение взвешенных частиц на электроды под действием электрического поля. Этот метод имеет наибольшую эффективность для очистки неполярных жидкостей, диэлектрические свойства которых дают возможность подавать высокое напряжение на электроды [5, с.5].

Предшествующие теоретические исследования показали, что бегущее электрическое поле, созданное многофазной системой электродов, позволяет существенно расширить спектр применения электрических средств очистки и сепарации слабопроводящих суспензий благодаря дополнительной силе, которая действует на частицы в бегущем поле. Эта сила двигает частицы вдоль рядов электродов и позволяет не только транспортировать их в зоны выгрузки при очистке жидкостей в устройствах непрерывного действия, но и разделять частицы по признакам электрофизических свойств благодаря использованию двух полей разной частоты, бегущих встречно [3, с. 44].

Целью работы является экспериментальное определение параметров системы напряжений для питания электродных систем сепараторов периодического и непрерывного действия.

Исследования проводились на экспериментальной установке, состоящей из многофазного высоковольтного источника питания переменного тока и камеры (рис. 1). Источник питания включает в себя двухфазный генератор регулируемой частоты с произвольным сдвигом фаз, усилитель и повышающие трансформаторы. В качестве генератора использовался персональный компьютер с программными средствами «Авангард», которые позволили осуществить функции низкочастотного двухканального генератора в диапазоне частот от 0 до 20 кГц. Исходные сигналы генератора поступают на два канала звуковой карты компьютера. Сигнал одного из каналов может произвольно сдвигаться по фазе относительно другого. Амплитуда сигнала регулируется и не зависит от частоты. Таким образом, с помощью персонального компьютера реализовывались функции генератора и фазовращателя. Симметричная трехфазная и четырехфазная системы напряжений были получены от несимметричной двухфазной с помощью трансформаторов. При запуске одновременно двух генераторов (повторный запуск программы) можно получить независимые сигналы разных частот, что дает возможность создания двух встречно бегущих полей.

Полученное многофазное напряжение подавалось на электроды 2 камеры (рис. 1). Для каждой из систем напряжений рассматривались две схемы подачи напряжения: со сдвигом фаз между потенциалами противоположных электродов и без сдвига.

В системе многофазных электродов на частицу суспензии действует сила со стороны пульсирующего поля, которая движет частицы в ячейки-накопители, и одновременно со стороны бегущего поля, которая движет частицы вдоль рядов электродов. Эти силы имеют одинаковый порядок, поэтому для исследования процесса очистки в экспериментальной установке между рядами электродов устанавливались

тонкие диэлектрические перегородки 4, как показано на рисунке 1. Такие перегородки не позволяют частицам задерживаться в ячейках-накопителях 3. Исследование влияния пульсирующего поля проводилось без таких перегородок, причем отбор проб осуществлялся в центральной области камеры, а бегущего поля – с перегородками и отбор проб осуществлялся в крайней области камеры со стороны движения частиц.

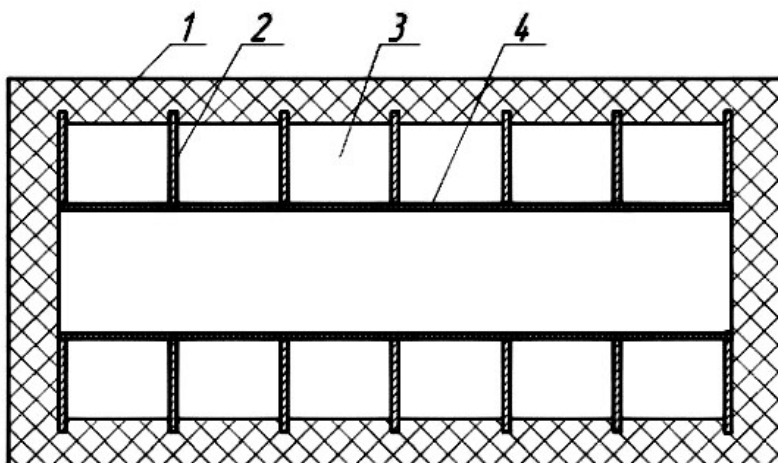


Рисунок 1 – Конструкция камеры: 1 – корпус; 2 – электроды; 3 – ячейка-накопитель частиц; 4 – диэлектрическая перегородка

Для проведения экспериментальных исследований были выбраны электродные системы с отношением расстояния между рядами электродов  $l$  к расстоянию между электродами в ряду  $h$  ( $l/h$ ), которые отвечают максимальной силе:  $l/h = 0,3$  – для трехфазной системы без сдвига фаз;  $l/h = 1$  – для трехфазной системы со сдвигом фаз;  $l/h = 0,5$  – для четырехфазной системы без сдвига фаз;  $l/h = 1$  – для четырехфазной системы со сдвигом фаз [4, с.81]. Расстояние между электродами в ряду составляло  $h = 1$  см. Напряжение на электродах устанавливалось таким, чтобы напряженность поля во всех случаях была одинаковой и составляла 5 кВ/см. Напряженность определялась по результатам математического моделирования поля двухрядных систем пластинчатых электродов методом комплексного потенциала [2, с.117].

В качестве критерия оценки качества очистки применен показатель «степень очистки», а сепарации – «коэффициент разделения». Эти показатели рассчитывались по формуле:

$$C = \frac{100(X_1 - X_2)}{X_1}, \quad (1)$$

где  $C$  – степень очистки (коэффициент разделения), %;  $X_1$  – массовое содержание частиц взвеси в суспензии до очистки или сепарации, %;  $X_2$  – массовое содержание частиц взвеси в суспензии после очистки или сепарации, %.

Исследования процесса очистки в пульсирующем и бегущем полях проводились для суспензии подсолнечного шрота в подсолнечном масле. Влажность шрота составляла 10 %. При такой влажности удельная электропроводность частиц шрота составляет  $1,4 \cdot 10^{-7}$  См/м, диэлектрическая проницаемость –  $5,3 \cdot 10^{-11}$  Ф/м [1, с.173]. Для данной суспензии угловая частота, которая отвечает максимальной силе в бегущем электрическом поле, равняется 1256 рад/с [1, с.173].

Результаты экспериментальных исследований процесса очистки в пульсирующем электрическом поле (рис. 2) показали, что наиболее эффективно процесс проходит в трехфазных электродных системах при отсутствии сдвига фаз между потенциалами противоположных электродов.

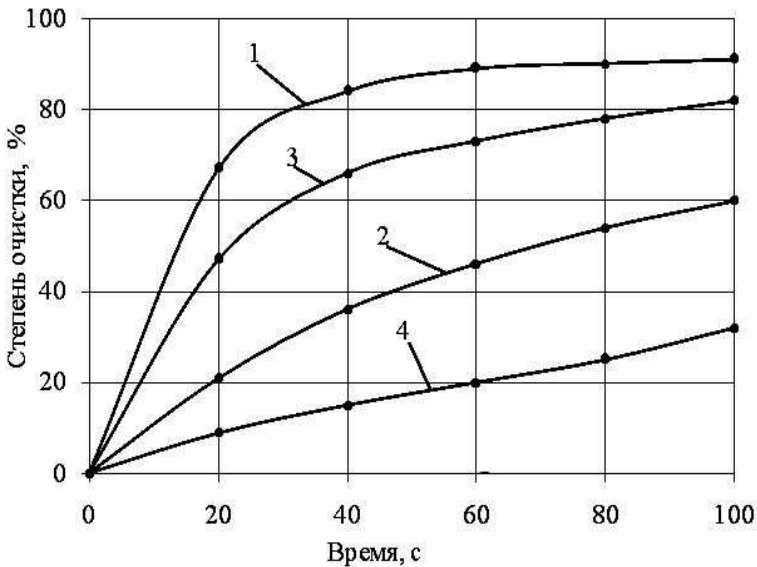


Рисунок 2 – Динамика очистки подсолнечного масла от шрота в пульсирующем поле: 1 – трехфазная система без сдвига фаз;

2 – трехфазная система со сдвигом фаз; 3 – четырехфазная система без сдвига фаз; 4 – четырехфазная система со сдвигом фаз

Очистка подсолнечного масла в бегущем поле наиболее эффективна в четырехфазных системах электродов (рис. 3). При сравнении графических зависимостей рисунка 2 и рисунка 3 очевидно, что скорость очистки в пульсирующем поле превышает скорость в бегущем поле. Это объясняется меньшим расстоянием, которое требуется пройти частицам для того чтобы покинуть зону очистки.

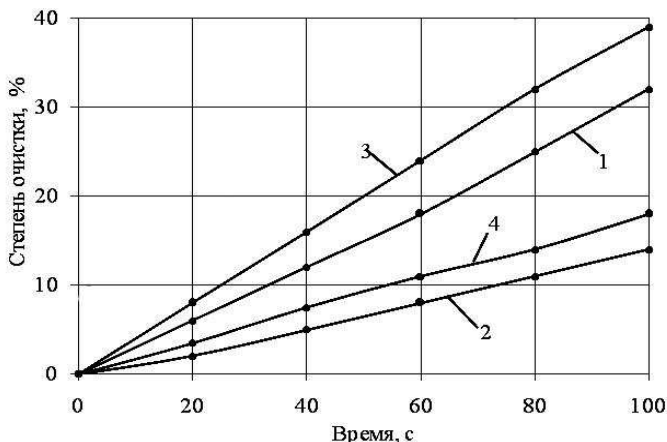


Рисунок 3 – Динамика очистки подсолнечного масла от шрота в бегущем поле: 1 – трехфазная система без сдвига фаз; 2 – трехфазная система со сдвигом фаз; 3 – четырехфазная система без сдвига фаз; 4 – четырехфазная система со сдвигом фаз

Для увеличения силы, действующей на частицы в бегущем поле, можно уменьшать размеры межэлектродной области пропорционально уменьшая величину напряжения. Поэтому исследования процесса разделения частиц шрота влажностью 6% и 14% проводились в камере с цилиндрическими электродами диаметром 0,5 мм при  $l/h = 0,5$  и  $h = 5$  мм. Содержание шрота каждой из фракций составляло 0,25 %. Удельная электропроводность частиц первой фракции –  $4,4 \cdot 10^{-8}$  См/м, диэлектрическая проницаемость –  $4,4 \cdot 10^{-11}$  Ф/м. Угловая частота, которая отвечает максимальной силе, для этой фракции равняется 446 рад/с. Частицы второй фракции имели удельную электропроводность  $4,3 \cdot 10^{-7}$  См/м, диэлектрическую проницаемость –  $7,2 \cdot 10^{-11}$  Ф/м. Угловая частота, которая отвечает максимальной силе, для этой фракции равняется 3215 рад/с[1,с.173].

Экспериментальные исследования проводились для четырехфазной системы электродов без сдвига фаз между потенциалами противоположных электродов. Величина напряжения частотой 446 рад/с равнялась величине напряжения частотой 3215 рад/с.

Результаты (рис. 4) показали высокую эффективность разделения частиц взвеси с разными электрофизическими свойствами при небольших концентрациях взвеси каждой из фракций ( $X < 1\%$ ).

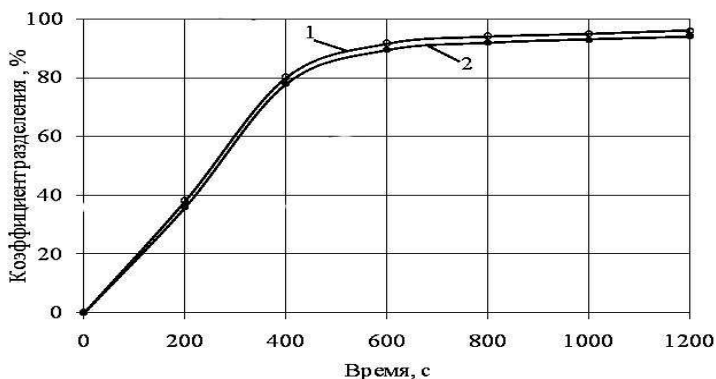


Рисунок 4 – Динамика разделения шрота подсолнечного масла в бегущем поле: 1 – фракция с влажностью 6 %; 2 – фракция с влажностью 14 %

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. В устройствах очистки периодического действия нужно применять пульсирующее электрическое поле, которое создается трехфазными системами электродов без сдвига фаз между противоположными электродами, что обеспечивает степень очистки подсолнечного масла от нежировых примесей в виде шрота 90 % за 70 с.

2. В сепараторах подсолнечного масла нужно использовать два встречно бегущих поля, которые создаются четырехфазными системами цилиндрических электродов без сдвига фаз между противоположными электродами, что обеспечивает коэффициент разделения фракций нежировых примесей 90 % за 300 с.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Назаренко І. П. До питання визначення електрофізичних властивостей діелектричних суспензій / І. П. Назаренко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Вип. 11. Т. 4. Мелітополь, 2011. С. 167–175.

2. Назаренко І. П. Моделювання електричного поля багатоелектродних систем пристроїв електричної очистки та сепараторації діелектричних суспензій / І. П. Назаренко, В. Ф. Яковлев, О. І. Лобода, С. В. Петриченко // Вісник Сумського національного аграрного університету. Суми: СНАУ, 2012. Вип.3(23): Механізація та автоматизація виробничих процесів. С. 117–122.

3. Назаренко І. П. Теоретичні дослідження в засвіді електричного поля з діелектричними суспензіями в багатоелектродних системах / І. П. Назаренко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наук. фах. видання / ТДАТУ. Мелітополь, 2012. Вип. 12, т. 1. С. 35–45.

4. Назаренко І. П. Теоретичне обґрунтування геометричних параметрів багатофазних електродних систем електросепараторів слабопровідних суспензій / І. П. Назаренко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наук. фах. видання / ТДАТУ. Мелітополь, 2013. Вип. 13, т. 2. С. 75–82.

5. Эфендиев О. Ф. Электроочистка жидкости в пищевой промышленности / О. Ф. Эфендиев. М.: Пищевая промышленность, 1977. 149 с.

## SEPARATION OF DIELECTRIC SUSPENSION IN THE MOVING ELECTRIC FIELD

*Keywords:* electric field, cleaning, separation, suspension, electrode.

*Annotation.* The results of experimental researches on separation of sunflower-seed oil in the moving electric field are represented. The parameters of the system of tension for the feed of the systems of electrodes of separators of periodic and continuous action are determinate.

---

**НАЗАРЕНКО ИГОРЬ ПЕТРОВИЧ** – кандидат технических наук, доцент кафедры гидравлики и теплотехники, Таврический государственный агротехнологический университет, Украина, Мелітополь, (nazarenko-64@mail.ru).

**NAZARENKO IGOR PETROVICH** – candidate of engineering sciences, the senior lecturer of hydraulics and heating engineering, the Tavriya State Agrotechnological University, Ukraine, Melitopol, (nazarenko-64@mail.ru).

---