

УДК 62-738

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ТЕХНИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

*А.Е. Абрамов, старший преподаватель, +79272724100,
abram-alex@mail.ru*

*ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ
А.О. Кошкина, к.т.н., доцент, +79297970550,
fallen0008@mail.ru
ФГБОУ ВО УлГТУ*

*Ю.В. Полетаева, начальник ТБ, +79677151342, poletaeva@mail.ru
АО АВИАСТАР-СП*

Ключевые слова: *техническая жидкость, надёжность, износ, сила трения, коагуляция, агрегативная устойчивость, диэлектрическая среда, дисперсность среды.*

Работа посвящена методике определения эффективности очистки технических жидкостей в электрическом поле. Автором дан механизм, разработана методика и программа для определения концентрации загрязнений в технических жидкостях.

Введение. Исследования показывают, что показатели качества технических жидкостей нестабильны. Изменения связаны с нарушением стандартов производства, правил хранения и реализации, а также эксплуатационными факторами. В связи с этим ухудшаются показатели надёжности технологического оборудования, такие как наработка на отказ, поток отказов, износ и др. [1].

При эксплуатации технологического оборудования (станки, машины, производственные линии и средства транспорта) применяется широкая номенклатура технических жидкостей от топлив, масел, различных гидравлических жидкостей до охлаждающих жидкостей. Технические жидкости различаются по происхождению (органические и неорганические), по назначению (топливо, смазывающие жидкости, охлаждающие, рабочие и т.д.).

Самыми распространёнными техническими жидкостями являются топлива, которые обладают химмотологической надёжностью, обеспечивающей работоспособность ДВС.

Вследствие применения жидкостей, несоответствующих требованиям качества эффективность работы объекта снижается: падает

мощность, возрастают износ и сопутствующая ему сила трения, а также снижается КПД рабочего процесса в результате чего происходят потери энергии до 25% и более и жидкости на 15...30% [2].

Материалы и методы исследования. В настоящее время существует множество способов и конструкций для снижения загрязнённости технических жидкостей [3], как минерального, так и растительного происхождения, наиболее перспективным из них является способ электрической очистки, позволяющий очищать как от механических, так и от жидких загрязнений.

Целью настоящего исследования является – теоретическое обоснование способа очистки технических жидкостей в электрическом поле.

На рисунке 1 представлена функциональная схема предлагаемого способа электрической очистки технических жидкостей [4].

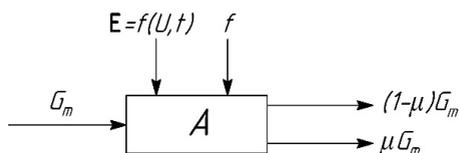


Рисунок 1 - Функциональная схема процесса электрической очистки технических жидкостей: G_m – расход технической жидкости, kg/s; E – напряженность электрического поля, V/m; U – напряжение электрического поля, V; t – время экспозиции, s; A – производительность устройства электрической очистки kg/s; μ – доля примесей, %; f – возмущающие случайные факторы.

Технические жидкости представляют собой сложную дисперсную систему в виде совокупности различных углеводородов или на основе воды, органических и неорганических загрязнений, включающих жидкие и твёрдые (абразивные) загрязнения, в том числе продукты износа.

Теория устойчивости и коагуляции дисперсных систем [3] рассматривает агрегативную устойчивость, как результат баланса сил молекулярного притяжения и сил электростатического отталкивания между дисперсными частицами, которую описывает выражение:

$$I = \frac{16\pi DaN}{2 \int_a^{\infty} \exp\left(\frac{W}{RT}\right) \frac{dS}{S^2}}, \quad (1)$$

где: a - радиус частиц, м; D - коэффициент их диффузии; N - число частиц; W - энергия взаимодействия частиц, Дж; R - универсальная газовая

постоянная, Дж/(моль К); T - абсолютная температура, К; $S = \frac{h}{r}$ (h - расстояние между поверхностями частиц, м; r - расстояние между центрами частиц, м).

Механизм поведения частиц загрязнений под действием электрического поля представлен на рисунке 2.

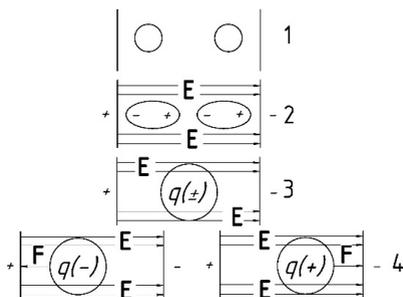


Рисунок 2 - Механизм поведения частиц загрязнений под действием электрического поля: E – напряжённость электрического поля, В/м; q – суммарный заряд коагулированной частицы, С; F – сила, действующая на коагулированную частицу со стороны электрического поля, Н.

Процесс коагуляции загрязнений, и его результат – увеличение размера частиц не зависимо от их природы, можно объяснить следующим образом. Под действием электрического поля снижается их энергетический барьер, в результате чего, все соударения частиц будут эффективны, что приведёт к их слипанию (коагуляции). В отношении жидких диэлектрических сред необходимо выполнение условия её достаточно низкой дисперсности, когда явлениями на границе раздела фаз можно пренебречь [4].

Взаимодействие частиц загрязнений с радиусами a_1 и a_2 находящимися на расстоянии $r \gg a$ друг от друга в безграничном однородном электрическом поле напряженностью E представлено на рисунке 3а.

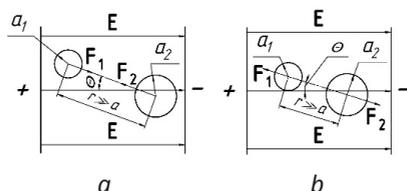


Рисунок 3 - Взаимодействие частиц загрязнений в электрическом поле: а – частицы движутся на встречу, друг другу и коагулируются; б – частицы движутся друг от друга к электродам одинаковых знаков.

Система сил, действующая на частицы загрязнений с радиусами a_1 и a_2 в однородном электрическом поле, может быть представлена в следующем виде:

$$\mathbf{F}_1 = \frac{3a_1^2 a_2^3 K^2 E^2}{r^4} \left[2 \left(1 + \frac{2a_1^3 K}{r^3} \right) \cos^2 \theta - \left(1 - \frac{2a_1^3}{r^3} \right) \sin^2 \theta \right], \quad (2)$$

$$\mathbf{F}_2 = \frac{3a_1^2 a_2^3 K^2 E^2}{r^4} \left(2 + \frac{2a_1^3 K}{r^3} \sin \theta \cdot \cos \theta \right), \quad (3)$$

где: F_1 и F_2 - силы, действующие на частицы в электрическом поле, N; θ - угол между напряженностью поля E и осью взаимодействия частиц;

K - дисперсность среды, $K = \frac{\varepsilon_a - \varepsilon_i}{\varepsilon_a + 2\varepsilon_i} \sqrt{\varepsilon_i}$, $\varepsilon_a, \varepsilon_i$ - диэлектрические про-

ницаемости среды и частиц соответственно.

Поведение частицы радиуса a (рис. 3б), находящейся на расстоянии r от электрода (при $r \gg a$), на нее действует сила, определяемая

$$\mathbf{F} = - \frac{3E^2 a^6 K^2}{8r^4}, \quad (4)$$

её направление ориентировано к ближайшему электроду. Силы F_1 и F_2 стремятся свести к минимуму потенциальную энергию системы, что

приводит к изменению ориентации частиц и их коагуляции в некоторой близости от плоскости, перпендикулярной вектору E при условии,

что $\theta = \arctg \sqrt{C}$, тогда F_2 является отталкивающей силой при исходной концентрации загрязнений C .

На пару частиц действует вращающий момент, ориентирующий систему так, что между частицами появляется сила притяжения, которая возрастает по мере её поворота на угол θ , в результате чего образуются агрегаты, образованные с помощью коагуляции. Агрегаты, состоящие из осаждённых частиц, увлекают свободные частицы, что позволяет выделить всю дисперсную фазу системы за минимальное время при максимальной исходной концентрации частиц.

Приближенное выражение для оценки времени сближения двух дисперсных частиц, находящихся в жидкой неполярной среде на расстоянии от r_2 до r_1 можно определить из выражения

$$t \cong \frac{2\eta(r_{2pr}^5 - r_{1pr}^5)}{5\varepsilon_0 E^2 K^2}, \quad (5)$$

или при условии соприкосновения поверхностей частиц

$$t \cong \frac{2\eta r_{2pr}^5}{5\varepsilon_0 E^2 K^2}, \quad (6)$$

где: η - динамическая вязкость жидкости, Па·с; ε_0 - диэлектрическая постоянная; r_{1pr} , r_{2pr} - приведенные расстояния при начальном и ко-

нечном положении частиц, $r_{pr} = \frac{r}{2a}$, м.

Выполнив преобразование выражения (6), если $r_{pr} = \frac{1}{\sqrt[3]{C}}$, получим:

$$E_K = \frac{1}{K} \sqrt[5]{\frac{2}{\varepsilon_0 t^3} \frac{\eta}{\sqrt{C^5}}}. \quad (7)$$

Как видно из этого выражения, значение критической напряженности электрического поля E_K не зависит от радиуса частиц, а только от их концентрации C .

Обсуждение результатов исследования. В результате математического анализа с помощью программного пакета Mathcad v15.0 получили зависимости напряженности электрического поля E_k от времени сближения t двух дисперсных частиц, находящихся в жидкой неполярной среде на расстоянии от r_2 до r_1 с динамической вязкостью жидкости η при концентрации частиц C в относительных единицах массы.

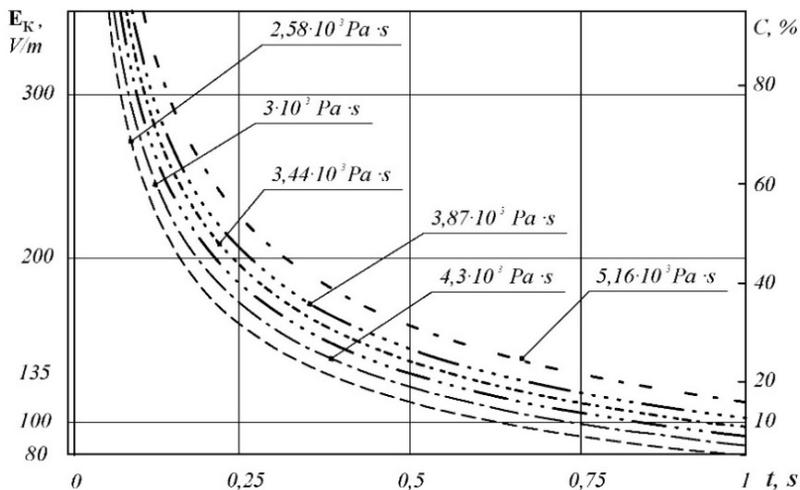


Рисунок 4 - График зависимости напряжённости электрического поля $E_{кр}$ от времени сближения частиц загрязнений t и их концентрации C

Так как концентрация частиц загрязнений C не превышает 10% от массы, а средний расход жидкости 0,007 kg/s [4], тогда в соответствии с графиком (рис. 4) при концентрации частиц загрязнений C , равной 10% по массе, время сближения t составит 0,75 s для жидкости, динамическая вязкость η которого составляет $3 \cdot 10^3$ Pa·s, что будет соответствовать напряженности электрического поля 100 V/m.

На напряженность электрического поля $E_{кр}$ также оказывает влияние динамическая вязкость жидкости η , с её возрастанием t увеличивается и наоборот. Качество очистки обеспечивается при условии,

$0 \leq t \leq \frac{Q}{m}$ (рис. 5), где: Q – расход технической жидкости, kg; m – масса, kg.

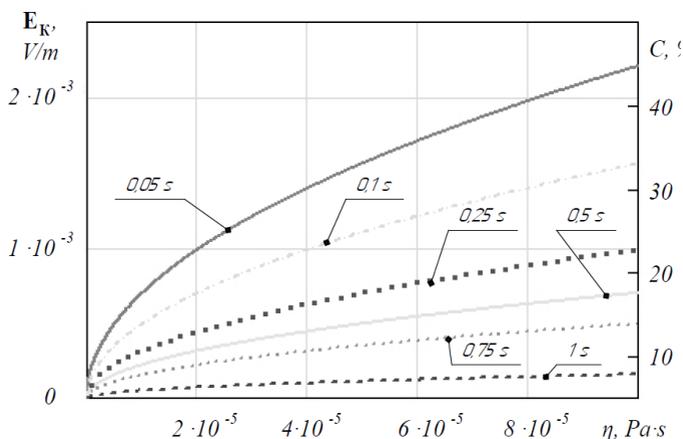


Рисунок 5 - Зависимость напряжённости электрического поля E_K от динамической вязкости жидкости η и концентрации C

При выполнении данного условия эффективность очистки зависит от скорости движения и характера течения жидкости, напряжённости электрического поля, а также от площади электродов, представляющих плоские или изогнутые пластины [3], что усложняет и удорожает конструкцию ввиду высокой материалоемкости и габаритов. Для условий современных машин и механизмов важна высокая эффективность очистки и компактность, эти условия можно выполнить с помощью коаксиального расположения электродов [5].

Заключение. Рассмотрен механизм процесса электрической очистки технических жидкостей в электрическом поле. Получена математическая модель процесса электрической очистки в электрическом поле и установлены границы исходных параметров электрического поля.

Библиографический список:

1. Варнаков Д.В. Повышение параметрической надежности двигателей подготовкой топлива к сгоранию Дис. канд. техн. наук: 05.20.03/ МГАУ им. В.П. Горячкина – Москва, 2008. – 156 с.
2. Коваленко В.П. Очистка нефтепродуктов от загрязнения. - М.: «Недра», 1990. - 160 с.:ил.
3. Грановский М.Г., Лавров И.С., Смирнов О.В. Электрообработка жидкостей.

Под. ред. докт. техн. наук Лаврова И.С. – Л.: «Химия», 1976. – 216 с.: ил.

4. Abramov A. The cleaning process model of diesel fuel in an electric field / A. Abramov, A. Morozov, A. Koshkina, S. Petryakov and J. Nuretdinova, MATEC Web of Conferences 298, 00095 (2019)// available at: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929800095> (Accessed 18 November 2019).
5. Устройство для очистки топлива: пат. 2297548, Российская Федерация, МПК F 02M 37/22 B01D 29/11/ А. Е. Абрамов, Е. А. Сидоров; заявитель и патентообладатель Ульяновская ГСХА. -№ 2005125999/06; заявл. 15.08.05; опубл. 20.04.07, Бюл. № 23 (2 ч.). - 3 с.

METHODOLOGY FOR DETERMINING THE EFFICIENCY OF CLEANING TECHNICAL LIQUIDS IN AN ELECTRIC FIELD

Abramov A.E., Koshkina A.O., Poletaeva Yu.V.

Key words: *technical fluid, reliability, wear, friction force, coagulation, aggregative stability, dielectric medium, dispersion of the medium.*

The work is devoted to the methodology for determining the efficiency of cleaning industrial fluids in an electric field. The author gave a mechanism, developed a methodology and a program for determining the concentration of contaminants in industrial fluids.