

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВЕТРА И ПРИМЕНЕНИЕ ЕГО ДЛЯ ПЕРЕКАЧИВАНИЯ ЖИДКИХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Леонов В.В., к.т.н., доц.

Приазовский государственный технический университет

ул. Университетская, 7, 87500, г. Мариуполь, Украина

E-mail: leonov.aes@yandex.ru

Приведено исследование влияния величин температуры, напряженности электрического поля и вида материалов в системе острый высоковольтный электрод – плоскость в жидком диэлектрике на давление электрического ветра. Получены рекомендации для технологического процесса и устройств электростатического насоса.

**Ключевые слова:** электрический ветер, острый электрод, напряженность электрического поля, жидкий диэлектрик.

**Введение.** Разработка двигателей, работающих по принципу увлечения среды, движущимися в статическом электрическом поле заряженными частицами (электрическим ветром), может быть использована для перекачивания жидких диэлектриков в гидроприводах машин и механизмов. Такие устройства не создают шума и вибраций, т.к. не имеют движущихся частей механизма. Явление электрического ветра в газовых средах может быть применено в устройстве вентилятора воздуха в комплекте с электростатическим фильтром.

**Анализ предыдущих исследований.** Разработка перечисленных устройств может быть выполнена на основании четкого представления о способе управления движением диэлектрической жидкости или газа в электростатическом поле.

Поведение изолирующей жидкости в постоянном электрическом поле описывается нелинейными уравнениями электродинамики [1].

Однако, получить аналитическое их решение не представляется возможным из-за отсутствия величин нелинейных коэффициентов и сложности системы уравнений. Важнейшей составляющей в системе уравнений является плотность электрического заряда  $\rho$  в жидкости, обуславливающая механические силы, действующие на жидкость и вызывающие ее перемещение, т.е. явление электрического ветра.

**Цель работы.** Исследование влияния величин температуры, напряженности электрического поля и вида материалов в системе острый высоковольтный электрод – плоскость в жидком диэлектрике на давление электрического ветра, для разработки технологического процесса перекачивания жидких диэлектриков и устройства насоса.

**Материал и результаты исследований.** Для электростатического поля в диэлектрике величина плотности электрических зарядов  $\rho$  определяется по формуле [2]:

$$r = jgrad \frac{e_0 e_r}{g}, \quad (1)$$

где  $e_0$  – диэлектрическая постоянная;  $e_r$  – относительная диэлектрическая проницаемость;  $g$  – удельная проводимость;  $j$  – плотность электрического тока.

Явление электрического ветра возникает в неоднородных электрических полях, т.к. удельная электрическая проводимость в достаточно сильных электрических полях сильно увеличивается с ростом напряженности согласно формуле Я.И. Френкеля [3], представленной здесь в упрощенном виде,

$$g = g_0 e^{\alpha \sqrt{E}}, \quad (2)$$

где  $g_0$  – удельная проводимость, не зависящая от напряженности;  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от свойств диэлектрика.

Так как в неоднородном электрическом поле напряженность является функцией координат точки в пространстве, то и проводимость зависит от координаты точки в пространстве, следовательно, по формуле (1) в неоднородном электрическом поле  $\rho$  возрастает с возрастанием градиента напряженности электрического поля.

На рис. 1 представлена известная система электродов игла – плоскость и показаны замкнутые траектории движения диэлектрической жидкости, наблюдаемые при наличии механических примесей.

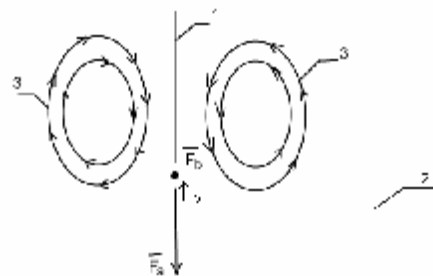


Рисунок 1 – Траектория движения диэлектрической жидкости в электростатическом поле: 1 – острый электрод; 2 – плоский электрод

Так, в зоне острия иглы 1 напряженность электрического поля в десятки раз превышает напряженность электрического поля на плоском электроде 2, на жидкость, расположенную в области острия, действует сила в направлении от острия:

$$F_a = r_a E_a, \quad (3)$$

где  $r_a$  – объемная плотность зарядов в точке а;  $E_a$  – напряженность электрического поля в точке а.

Ионы жидкости перемещаются от острия к плоскому электроду, на поверхности которого происходит рекомбинация, и появляются ионы противоположного знака, но в точке  $b$   $r_b \ll r_a$  так как  $E_b \ll E_a$ . Поэтому  $F_b \ll F_a$ , и жидкость не может перемещаться навстречу иглы, а движется по замкнутой траектории к противоположному концу иглы с малой напряженностью электрического поля и, постепенно перезаряжаясь, подходит к острию иглы 1. Следовательно, устанавливается замкнутый гидродинамический поток от острия иглы к плоскому электроду, так и от плоского электрода к игле.

В данной работе с целью практического применения явления электрического ветра проведено экспериментальное исследование влияния ряда факторов на давление электрического ветра в жидком диэлектрике:

- от температуры острого электрода;
- от температуры жидкого диэлектрика;
- от величины напряженности электрического поля;
- от материала, из которого выполнены электроды.

Изучение поставленных задач производилось на специально разработанном устройстве рис. 2.

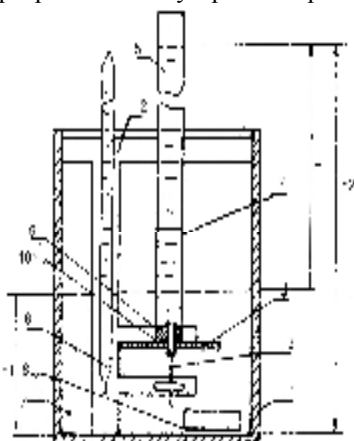


Рисунок 2 – Устройство для оценки давления электрического ветра: 1 – корпус; 2 – каркас; 3 – острый электрод; 4 – плоский электрод; 5 – мерная стеклянная трубка; 6 – термометр; 7 – жидкий диэлектрик; 8 – проволочное сопротивление; 9 – патрубок; 10 – пробка;  $h_1$ ,  $h_2$  – уровни жидкостей в левой и правой частях устройства;  $H$  – разность уровней

Устройство состоит: из цилиндрического стеклянного сосуда (1), в котором расположен каркас из стеклотекстолита 2 с укрепленными на нем электродами 3, 4; мерной стеклянной трубки 5 и термометром 6. Для нагрева жидкости 7 использовалось проволочное сопротивление 8. Внутренний диаметр полихлорвинилового патрубка (9) 3 мм. Расстояние от игольчатого острия до плоского электрода 1,5 мм. Данное расстояние выбрано из условия максималь-

ной чувствительности устройства. Длина стальной иглы – 20 мм.

*Изучение влияния температуры острого электрода на давление электрического ветра.* В данном опыте острый электрод выполнен в виде узкой петли из нихромовой проволоки, подключенной к низковольтному источнику питания, а температура острого электрода измерялась термопарой. Первый опыт был произведен без подогрева острого электрода при температуре диэлектрической жидкости (АМГ-10) 26 °С.

При отсутствии напряжения на электродах уровни жидкости в корпусе  $h_1$  и в мерной трубке  $h_2$  одинаковы. После подключения высоковольтного источника питания к электродам 3, 4 при напряжении 10 кВ уровень жидкости  $h_2$  возрос, а уровень  $h_1$  уменьшился. Масло АМГ-10 перекачивалось в мерную стеклянную трубку. Процесс установился при  $H = h_2 - h_1 = 25$  мм за время не более 120 с.

Второй опыт отличался от первого только подключением иглы (нихромовой петли) к низковольтному источнику питания. С повышением температуры острого электрода до 120 °С величина  $H$  увеличилась до 40 мм.

Температура жидкости в устройстве возросла до 60 °С, а 90 % механических примесей загрязнений, содержащихся в жидкости АМГ-10 переместились в мерную трубку 5.

Полученные результаты позволяют сделать ряд выводов:

- устройство (рис. 2) способно перекачивать жидкие диэлектрики за счет электрогидродинамического явления (электрического ветра) и может быть использовано для оценки давления электрического ветра;

- повышение температуры острого электрода в 3,6 раза интенсифицировало давление электрического ветра на 60 %, что можно объяснить как увеличением плотности электрических зарядов, так и уменьшением вязкости жидкости АМГ-10 с ростом температуры.

В процессе работы устройства для оценки давления электрического ветра механические частицы загрязнений, заряжались в зоне острого электрода и под действием кулоновских сил перемещались к плоскому электроду и через отверстие в перегородке попадали в мерную трубку.

*Изучение влияния температуры жидкого диэлектрика и напряженности неоднородного электрического поля на давление электрического ветра.* Опыт заключался в исследовании зависимости разности уровней  $H$  для гидравлической жидкости АМГ-10 и топлива ТС-1 в состоянии поставки от величины напряжения на электродах. Расстояние между электродами 1,5 мм. Одновременно с измерением разности уровней жидкости производились измерения величины тока между электродами, что позволяет оценивать косвенно проводимость жидкости.

На рис. 3,а представлены зависимости разностей уровней жидкостей АМГ-10 и ТС-1 от величины напряжения на электродах. Все зависимости получены до напряжений, при которых начинался пробой жидкости.

Результаты измерений показали:

– наиболее интенсивный процесс образования электрического ветра происходит в топливе ТС-1. Характер возрастания тока и разности уровней жидкости ТС-1 практически совпадает до пробоя, что позволяет объяснить приращение тока между электродами за счет переноса заряда с помощью электрического ветра при постоянстве концентрации носителей заряда. Интенсивность электрического ветра в жидкости АМГ-10 при температуре 70 °С возросла на 45 %, т. к. вязкость жидкости уменьшилась до 10 Ст, но электрическая прочность понизилась.

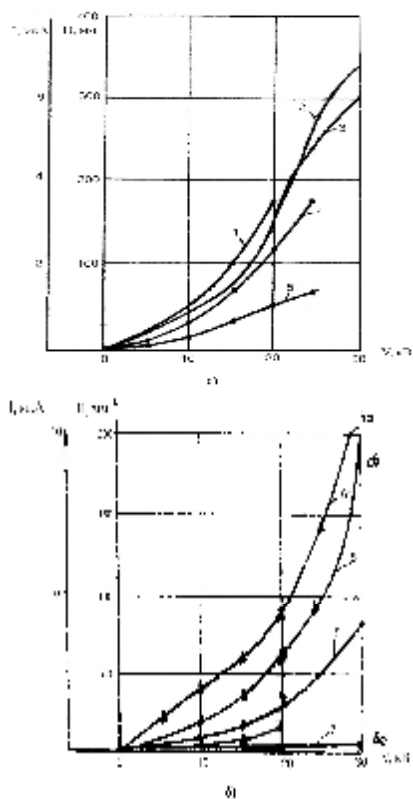


Рисунок 3 – Зависимости разностей уровней жидкости тока между электродам от величины напряжения на электродах: 1 – зависимость разностей уровней жидкости АМГ-10 при температуре 70 °С; 2 – зависимость разностей уровней топлива ТС-1 при температуре 26°С; 3 – зависимость величины тока между электродами в топливе ТС-1 при температуре 26°С; 4 – зависимость разностей уровней жидкости АМГ-10 при температуре 26 °С; 5 – зависимость величины тока между электродами в жидкости АМГ-10 при температуре 26 °С; 6 – зависимость величины тока между электродами покрытыми окисью бария;

7 – зависимость величины разностей уровней жидкости для электродов покрытыми окисью бария; 8 – зависимость величины тока между свинцовыми электродами; 9 – зависимость величины разностей уровней жидкости для свинцовых электродов

*Изучение влияния материала острого электрода на давление электрического ветра.* Для решения поставленной задачи сравниваются результаты, полученные для стальной иглы с жидкостью АМГ-10, с результатами исследования для иглы, изготовленной из свинца и окиси бария в жидкости АМГ-10 в состоянии поставки при температуре 26 °С. Выбранные материалы для иглы отличаются величиной работы выхода электрона из вещества и механической прочностью. Расстояние между электродами в опыте выбрано равным 3 мм. На рис 3,б представлены результаты измерений.

Обобщая полученные результаты, можно сделать вывод, что для свинцовой иглы и иглы, покрытой окисью бария, разность уровней жидкости значительно меньше, чем для стальной иглы, а величина тока между электродами значительно выше. Отсутствие интенсивного электрического ветра и большая проводимость жидкости при свинцовой игле и игле, покрытой окисью бария, не позволяют рекомендовать их для процесса перекачивания для электрических жидкостей.

*Основные рекомендации для технологического процесса.* Для получения больших давлений электрического ветра целесообразно температуру гидравлических жидкостей поддерживать на их обычной рабочей температуре в интервале от 50 до 70 °С, т. к. кинематическая вязкость, например, жидкости АМГ-10 не превышает 10 С ст. Величины эффективных значений напряжений на электродах составляет 70-80 % от величины пробивного напряжения.

Для перекачивания топлива ТС-1 необходимости в подогреве нет, т. к. вязкость при изменении температуры изменяется незначительно, от 1,5 до 1,2 см. электроды в устройствах для перекачивания жидких диэлектриков целесообразно изготавливать из высокоуглеродистых нержавеющей сталей.

*Устройство электростатического насоса.* На основании выполненных исследований разработано устройство для перекачивания жидких и газообразных диэлектриков.

Двухступенчатый насос (рис. 4) содержит диэлектрический корпус 1, внутри которого расположены комбинированные электроды 2, состоящие из острых эмиттерных электродов 3 в виде тонких лезвий и плоских коллекторных электродов 4 с щелью 5, покрытой эпоксидным компаундом 6.

Щель 5 расположена напротив лезвия электрода 3 и соответствующей ему по форме. Для крепления острых электродов (лезвий) используются кронштейны 7. Расстояния L и Н равны друг другу.

Работает устройство следующим образом. Жидкость всасывается устройством через входной патрубок 8 и проходит через щель с эпоксидным покрытием 6 первого положительного электрода.

В области острого электрода (лезвия) 3 происходит зарядка жидкости положительным зарядом и под действием силы притяжения отрицательного плоского электрода 4 происходит ее перемещение через щель 5 в следующую ячейку, где в области острого отрицательного электрода она перезарядается.

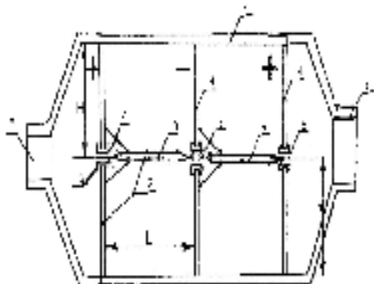


Рисунок 4 – устройство электростатического насоса: 1 – диэлектрический корпус; 2 – комбинированные электроды; 3 – острый эмиттерный электрод; 4 – коллекторный электрод; 5 – щель; 6 – диэлектрическая перегородка; 7 – кронштейн; 8 – входной патрубков; 9 – выходной патрубков

Для получения больших давлений одноступенчатые насосы подключают последовательно, а для получения большой производительности их подключают параллельно.

Опытные образцы насосов имеют на выходе давление 2 атмосферы и производительность 10 л/мин.

**Выводы.** Повышение температуры электрода в 3,6 раза повышением давления электрического ветра на 60 % и приводит к разделению механических частиц и жидкости.

Повышение температуры жидких диэлектриков и напряженности неоднородного электрического

поля приводит к интенсивному возрастанию давления электрического ветра. Так, давление электрического ветра в жидкости АМГ-10 при температуре 70 °С возросло на 45 % по сравнению с давлением при температуре 26 °С, что позволяет рекомендовать для технологического процесса перекачивания жидких диэлектриков повышение температур перекачиваемых жидкостей и напряженности электрического поля до величин, ограниченных электрической прочностью.

Устройства электростатических насосов должны содержать систему электродов острый электрод – плоскость, в которой напротив острия в плоском электроде выполняется отверстие, по форме совпадающее с формой острия и покрытое твердым диэлектриком для предотвращения перезарядки жидкости.

Материал высоковольтных электродов с целью получения высоких значений давления электрического ветра целесообразно выбирать стальным, что обеспечивает сохранение высоких диэлектрических свойств жидкостей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Остроумов В.А. Взаимодействие электрических и гидродинамических полей. – М.: Наука, 1979. – 319 с.
2. Леонов В.В., Кравчук С.Н. Плотность электрических зарядов в маслах и рабочих жидкостях в постоянном электрическом поле// Вісник Приазовського державного технічного університету.– 2004.– Вып. № 14. С.282–286.
3. Корицкий Ю.В. Электротехнические материалы.– М.: Энергия, 1976. – 320 с.

Статья надійшла 10.01.2011 р.  
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.  
Ращепкіним А.П.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЯВИЩА ЕЛЕКТРИЧНОГО ВІТРУ І ЗАСТОСУВАННЯ ЙОГО ДЛЯ ПЕРЕКАЧУВАННЯ РІДКИХ ДІЕЛЕКТРИКІВ

*Леонов В.В., к.т.н., доц.*

*Приазовський державний технічний університет  
вул. Університетська, 7, 87500, м. Маріуполь, Україна  
E-mail: [leonov.aes@yandex.ru](mailto:leonov.aes@yandex.ru)*

Приведено дослідження впливу величин температури, напруженості електричного поля і виду матеріалів в системі гострий високовольтний електрод – площина в рідкому діелектрику на тиск електричного вітру. Отримані рекомендації до технологічного процесу і прилад електростатичного насосу.

**Ключові слова:** електричний вітер, гострий електрод, напруженість електричного поля, рідкий діелектрик.

## RESEARCH OF THE PHENOMENON OF AN ELECTRIC WIND AND ITS APPLICATION FOR PUMPING LIQUID DIELECTRICS

*V. Leonov, Cand. of Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*

*Priazov state technical university  
vul. Universitetska., 7, 87500, Mariupol, Ukraine  
E-mail: [leonov.aes@yandex.ru](mailto:leonov.aes@yandex.ru)*

The study of the influence of temperature magnitude, electric-field strength and types of materials in the system of acute high voltage electrode-surface in liquid dielectric on the pressure of electric wind has been carried out. The recommendations for the technological process to the electrostatic pump facilities have been obtained.

**Key words:** electric wind, acute electrode, electric field strength, liquid dielectric.