

Summary

The present article is dedicated on researches of nonequilibrium electrical discharges influence on alternating voltage on solid dielectrics properties and theirs break-down mechanisms after influence of the short-time high voltage impulses. Is considered an adhesion and surface energy increase mechanisms on interface of components in compound materials. It is shown an influence of the high voltage nanosecond impulses on solid dielectrics structure and properties. Is presented to quantitative connection between the process electrical parameters, the dielectrics properties and the space-time characteristics of the impulse discharge.

М.К. Болога, И.В. Кожевников

ВЛИЯНИЕ ИЗОЛЯЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ НА ПРОЦЕССЫ ЗАРЯДООБМЕНА МЕЖДУ ЭЛЕКТРОДОМ И ЖИДКОСТЬЮ

*Институт прикладной физики АН РМ,
ул. Академией, 5, г. Кишинев, MD-2028, Республика Молдова*

Процессы зарядообмена на границе электрод–жидкость в значительной степени определяют эффективность работы электрогидродинамических (ЭГД) насосов. Обоснования этих процессов различны [1–3]. Но единым является стремление обеспечить более интенсивные процессы ионизации среды на электроде–эмиттере, в частности путем использования асимметричных электродов или введения определенных присадок в рабочую жидкость; управлять этими процессами возможно также методом нанесения изоляционного покрытия на коллектор или эмиттер.

Для исследования влияния диэлектрического покрытия на структуру ЭГД-течений в межэлектродном промежутке и соответственно на интенсивность сквозной прокачки ЭГД-насоса использовалась экспериментальная установка (рис. 1).

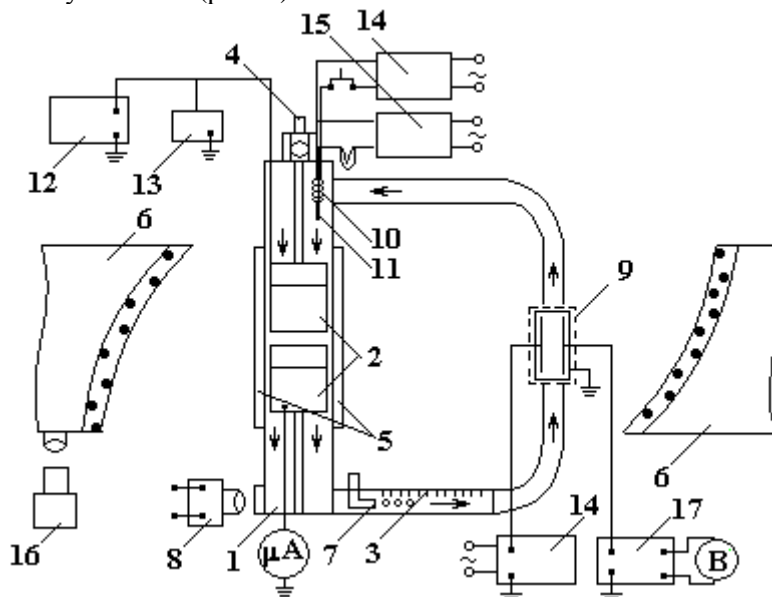


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследования структуры ЭГД-течений теневым методом. 1 – канал; 2 – электроды; 3 – замкнутый трубопровод; 4 – микрометрический столик; 5 – оптические стекла; 6 – теневой прибор ИАБ-451; 7 – капилляр; 8 – осветитель; 9 – ячейка для измерения проводимости; 10 – омический нагреватель; 11 – термонара; 12 – высоковольтный источник; 13 – киловольтметр; 14 – источник постоянного тока; 15 – милливольтметр; 16 – кинокамера; 17 – усилитель малых токов

В прозрачном канале 1 установлена система электродов 2 типа «лезвие–лезвие», ориентированных в одной или разных параллельных плоскостях ребрами противоположно друг к другу. Расстояние между электродами и плоскостями, в которых они расположены, варьировалось с помощью микрометрического столика 4.

Для визуализации ЭГД-течений теневым методом боковые стенки канала 1 выполнены из оптических стекол 5. В замкнутом стеклянном трубопроводе 3 устанавливался капилляр 7 для ввода меток – воздушных пузырей (диаметром 0,1 мм), подсветка которых осуществлялась осветителем 8.

Проводимость рабочей среды в ячейке 9 измерялась по методике, предложенной в [3]. Термические неоднородности в жидкости создавались омическим нагревателем 10. Импульсно нагретый на 1°С объем жидкости (измерения проводились термопарой 11) втягивался в межэлектродный промежуток и визуализировался теневым прибором 6. Возможности влияния температурной неоднородности на характеристики ЭГД-течения исследованы в [4], показано, что при использованных градиентах температуры такого воздействия не наблюдается. Напор, создаваемый ЭГД-насосом, измерялся с помощью пьезометров, установленных на входе и выходе трубопровода 3.

Теневые картины ЭГД-течений в межэлектродном промежутке регистрировались кинокамерой. Одновременно измерялась максимальная скорость движения пузырьков воздуха в трубопроводе 3. На основе этих данных при ламинарном течении определялся расход рабочей среды $G = 0,5 \cdot V_{\max} \cdot S$, где V_{\max} – максимальная скорость жидкости; S – площадь сечения трубопровода. Эксперименты проводились с чистым трансформаторным маслом и с раствором бутилового спирта, что позволило варьировать электропроводность в интервале $\sigma = 10^{-11} - 10^{-7} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$. Подготовка эксперимента начиналась с заполнения установки предварительно очищенным трансформаторным маслом. Подавалось необходимое напряжение, и в течение 1,5–2 часов рабочая среда подвергалась воздействию электрического поля, до выхода тока утечки на квазистационарное состояние. При сквозной прокачке устанавливался капилляр таким образом, чтобы траектория движения воздушных пузырьков совпадала с центральной осью трубопровода. Отметим, что пузыри диаметром менее 0,1 мм не оказывают существенного влияния на ЭГД-течение [3].

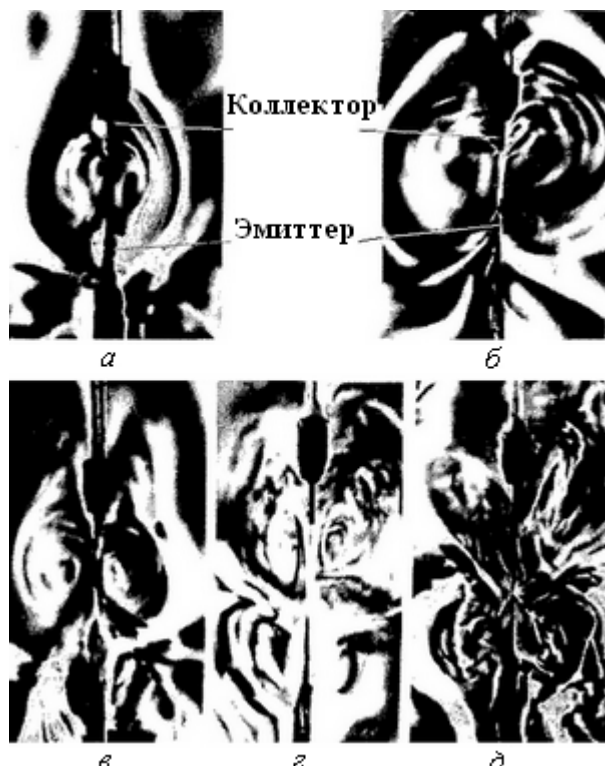


Рис. 2. Структуры ЭГД-течений в трансформаторном масле при напряжениях, кВ: а – 6; б – 9; в – 14; г – 20; д – 30

На рис. 2 приведены структуры ЭГД-течений для системы электродов «лезвие–лезвие» в чистом трансформаторном масле ($\sigma = 10^{-12} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$) при различных напряжениях. Межэлектродное расстояние $d = 1,0$ см. При отрицательной полярности эмиттера $U = 6$ кВ (рис. 2,а) течение в виде двух симметричных ячеек замкнуто в межэлектродном промежутке, и сквозная прокачка отсутствует. С

повышением напряжения $U \geq 9$ кВ (рис. 2,б,в) симметричные ячейки смещаются в сторону заземленного электрода (коллектора). Около эмиттера (лезвие) (рис. 2,з) возникают две дополнительные ячейки. По мере увеличения напряжения до $U = 30$ кВ происходит вытягивание ячеек вдоль коллектора, затем – турбулизация потока (рис. 2,д). При этом наблюдается повышение интенсивности выбросов трансформаторного масла за пределы межэлектродного промежутка. Скорость сквозной прокачки жидкости незначительна, велика интенсивность возвратных течений. В части интерпретации этих результатов можно отметить, что образовавшиеся ионы на эмиттере под действием кулоновских сил устремляются в направлении коллектора. Часть из них выбрасывается за межэлектродный промежуток, а другая, не успевшая перезарядиться, увлекается возвратным течением в сторону эмиттера. Не «долетая» до него под действием кулоновских сил, они вновь двигаются к заземленному электроду. С повышением напряжения сила, действующая на ионы, возрастает, уменьшается расстояние, пройденное ими в направлении эмиттера, наблюдаются смещение и вытягивание ячеек вдоль коллектора.

Нанесение изоляционного покрытия на переднюю часть заземленного электрода увеличивает масштаб ячеек и способствует формированию только двухячейковой структуры (рис. 3). Диэлектрическое покрытие снижает скорость ионообразования на коллекторе и рекомбинацию на нем ионов знака потенциала эмиттера.

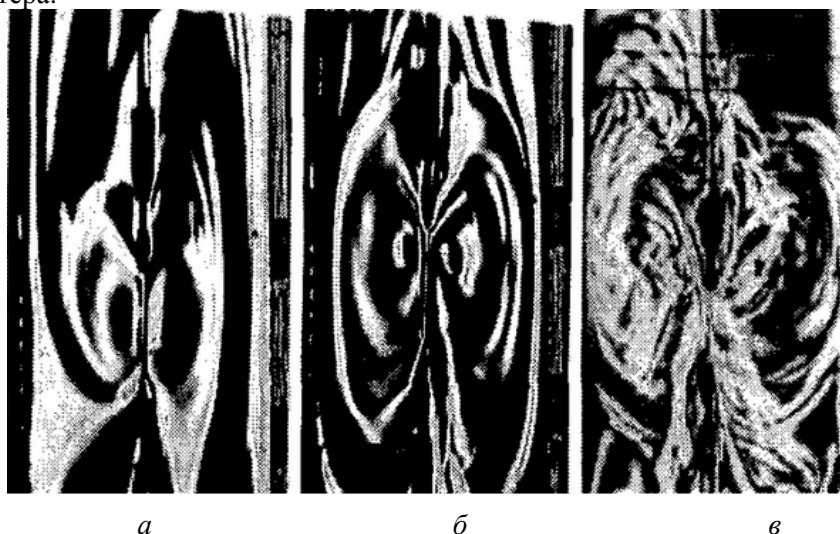


Рис. 3. Структуры ЭГД-течений в трансформаторном масле с изоляционным покрытием коллектора при напряжениях, кВ: а – 9; б – 14; в – 30; d = 10 мм

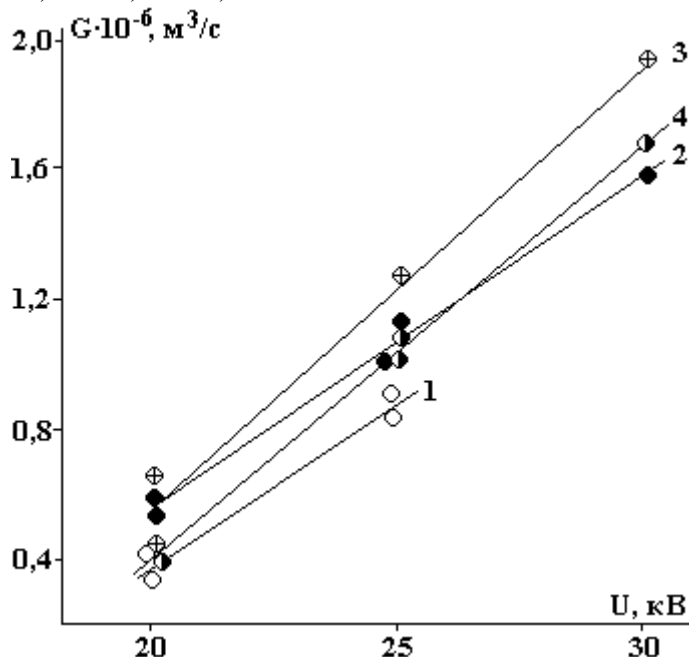


Рис. 4. Зависимость расхода трансформаторного масла от напряжения при различных расстояниях между электродами. d, мм: 1 – 2,3; 2 – 3,3; 3 – 5,0; 4 – 7,3; $\delta = 5,0$ мм

Сужение канала δ в межэлектродном промежутке и уменьшение расстояния между электродами увеличивает интенсивность сквозной прокачки. На рис. 4 приведены зависимости расхода жид-

кости (в трубопроводе 3) от напряжения при различных расстояниях между электродами. Оптимальный промежуток между электродами, обеспечивающий максимальный расход, составляет 3,3–5 мм. При $d = 1,2$ мм прокачка практически отсутствует. На коллекторе с изоляционным покрытием накапливается избыток ионов знака эмиттера, часть из которых стекает, увлекая жидкость вдоль изоляции к оголенной части коллектора. Оставшиеся заряды противодействуют движению ионов того же знака от эмиттера. Этот эффект сильно проявляется при малых d (кривая 1, рис. 4).

Характер ЭГД-течений изменяется при нарушении симметричности (расположения в одной плоскости) электродов. По мере смещения эмиттера к стенке двухячейное движение переходит в одноячейное и возрастает интенсивность сквозной прокачки от $1,5 \cdot 10^{-6}$ до $2 \cdot 10^{-6}$ м³/с. При этом происходит перераспределение электрических силовых линий в сторону близлежащей боковой поверхности коллектора, снижается влияние избыточного заряда у изолированной его части на ЭГД-течение, вследствие чего формируется более стабильное одноячейное движение, благодаря которому дополнительно усиливается эффект подсосывания со стороны входного патрубка канала и выброса рабочей среды из межэлектродного промежутка.



Рис. 5. Структуры ЭГД-течений в 13% растворе бутилового спирта в трансформаторном масле при различных напряжениях, кВ: а – 7,5; б – 25; в – 20

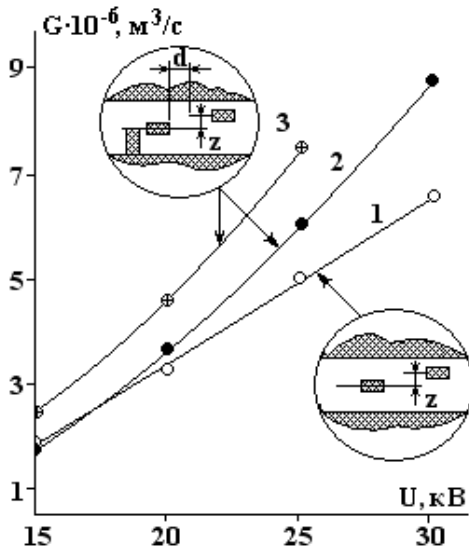


Рис. 6. Зависимость расхода рабочей жидкости от напряжения: d , мм: 1, 2 – 3; 3 – 2; $z = 2$ мм, $\sigma = 3,1 \cdot 10^{-10}$ Ом⁻¹·м⁻¹

Аналогичная картина наблюдается в растворе бутилового спирта в трансформаторном масле (рис. 5). При $U = 20$ кВ происходит флуктуирование центральной струи вдоль поверхности коллектора. С повышением напряжения ЭГД-течение стабилизируется, ячейки уменьшаются и смещаются к коллектору (рис. 5,б). Изменение соосности электродов (рис. 5,в) приводит к одноячейному движению. Интенсивность сквозной прокачки уменьшается от $6,5 \cdot 10^{-6}$ до $4 \cdot 10^{-6}$ м³/с, что может быть объяснено втягиванием рабочей среды в межэлектродный промежуток с противоположной стороны коллектора (по отношению к эмиттеру) (рис. 5,в). Подтверждением этого являются зависимости, приве-

денные на рис. 6. С перекрытием канала со стороны удаленной (по отношению к эмиттеру) боковой поверхности коллектора существенно повышается скорость потока в замкнутом контуре, особенно с ростом напряжения (кривые 1 и 2). При этом характеристики насоса улучшаются по мере уменьшения расстояния между электродами (кривые 2 и 3). Увеличивается напряженность электрического поля на кромке эмиттера, усиливается ускоряющее воздействие на заряженную среду боковой поверхности коллектора, ближайшей к эмиттеру. Это воздействие значительно возрастает с изменением угла между коллектором и плоскостью стенки канала до 9 градусов, как показано на рис. 7. Повышается расход жидкости по внешнему контуру (кривая 3 рис. 6 и кривая 2 рис. 7), максимальное значение которого достигается при проводимости среды, равной $6,1 \cdot 10^{-10} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ (кривая 3). В то же время экстремальное значение коэффициента полезного действия η наступает при $\sigma = 3 \cdot 10^{-10} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ и по величине не превышает 10%. С уменьшением межэлектродного расстояния, так же как и выше, увеличивается интенсивность сквозной прокачки (кривые 4, 5, 6), но изменяется характер зависимости $\eta = f(U)$ (кривые 4, 5, 6 рис. 4, 8), которая при $d = 2; 3 \text{ мм}$ монотонно возрастает, а при $d = 1 \text{ мм}$ сначала возрастает, затем в интервале (20÷30 кВ) имеет постоянное значение. То есть основная часть энергии, подводимая к ЭГД-наосу, затрачивается на джоулев разогрев рабочей среды.

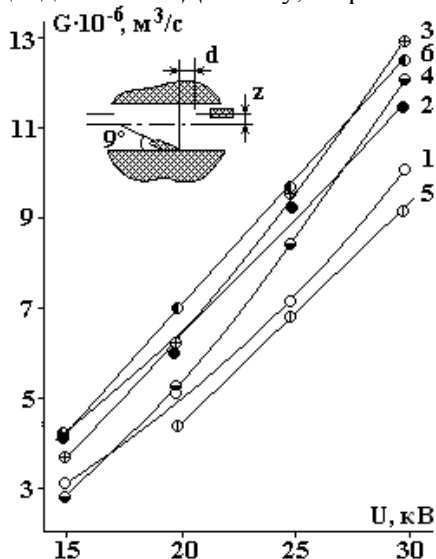


Рис. 7. Зависимость расхода жидкости от напряжения при различных проводимостях рабочей среды и расстояниях между электродами, σ , $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$: 1 – $1,3 \cdot 10^{-10}$, 2 – $3 \cdot 10^{-10}$, 3 – $6,1 \cdot 10^{-10}$, 4 – $1,2 \cdot 10^{-9}$, $d = 2 \text{ мм}$; 5 – $1,1 \cdot 10^{-9}$, $d = 3 \text{ мм}$; 6 – $1,1 \cdot 10^{-9}$, $d = 1 \text{ мм}$, $z = 2 \text{ мм}$

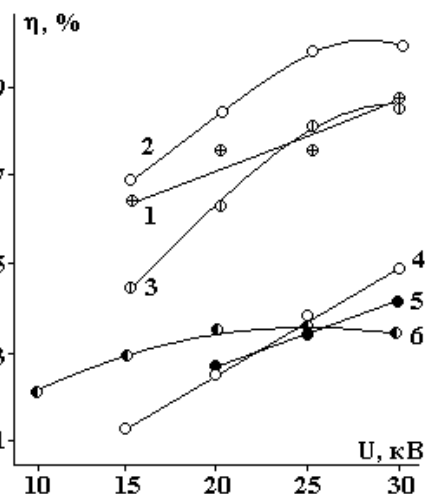


Рис. 8. Зависимость коэффициента полезного действия от напряжения при различных σ и d . σ , $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$: 1 – $1,3 \cdot 10^{-10}$, 2 – $3 \cdot 10^{-10}$, 3 – $6,1 \cdot 10^{-10}$, 4 – $1,2 \cdot 10^{-9}$, $d = 2 \text{ мм}$; 5 – $1,1 \cdot 10^{-9}$, $d = 3 \text{ мм}$; 6 – $1,1 \cdot 10^{-9}$, $d = 1 \text{ мм}$

Таким образом, в работе показано, что применение изоляционного покрытия позволяет управлять процессами на границе электрод–жидкость и, как следствие, – повысить эффективность и производительность ЭГД-наоса. Последнее существенно зависит от взаимного расположения электродов и электропроводности рабочего вещества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Денисов А.А., Нагорный В.С. Электро- и электрогидродинамические устройства автоматики. Л., 1979.
2. Остроумов Г.А. Взаимодействие электрических и гидродинамических полей. М., 1979.
3. Стишков Ю.К., Остапенко А.А. Электрогидродинамические течения в жидких диэлектриках. Л., 1989.
4. Стишков Ю.К., Остапенко А.А., Петрова З.М. Влияние размеров и температуры активного электрода на кинематику ЭГД-течений // Сб. трудов агрофиз. ин-та. Вып.3. Л., 1980. С. 60–64.

Поступила 12.08.05

Summary

The influence of dielectric coating on structure of EHD flows in the interelectrode gap as well as on the intensity of pumping, visualized by means of shadow method, is investigated. Parameters of the channel, electric conductivity of the working medium, interelectrode gap width, as well as their reciprocal location have been optimized that allowed to increase the efficiency of EHD pump.