

ИНДЕКС УДК 532.5:537.7

СВЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ В ТОНКИХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КАНАЛАХ

©Герценштейн С.Я., Монахов А.А.

Институт механики МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва
gertsens@imec.msu.ru**Аннотация**

Представлены результаты экспериментального исследования течения слабо проводящей жидкости в составном канале из разных диэлектриков. Обнаружено, что при некоторой скорости потока на границе раздела диэлектриков возникает свечение жидкости. Свечение имеет дискретный характер и сопровождается электромагнитной составляющей в радиодиапазоне. Дано описание возможного механизма возникновения свечения.

LUMINESCENCE OF A LIQUID IN THIN DIELECTRIC CHANNELS

Results of an experimental research of current of poorly spending liquid in the compound channel from different dielectric are presented. It is revealed, that at some speed of a stream on border of section dielectric there is a luminescence of a liquid. The luminescence has discrete character and is accompanied by an electromagnetic component in a radorange. The description of the possible mechanism of occurrence of a luminescence is given.

В предварительных экспериментальных исследованиях течения слабопроводящей жидкости в тонких диэлектрических каналах обнаружено явление - свечения жидкости [1,2]. Свечение можно наблюдать невооруженным глазом при дневном освещении. Описание этого явления как в отечественной литературе, так и в зарубежной, нами не обнаружено.

В настоящей работе приводятся результаты исследования течения жидкости в канале диаметром 0.1 см и длиной 5 см. Движение жидкости задается перепадом давления, числа Re при этом не превышали 600.

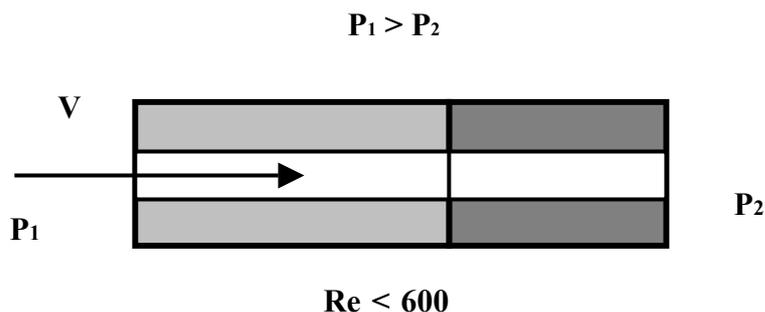


Рис. 1.

Рассматривались два вида составного канала с разными материалами вдоль его оси (Рис.1). В первом варианте начальная область канала длиной 3 см была выполнена из фторопласта марки Ф4МБ и оконечная его часть 2 см с тем же диаметром из органического стекла. Фторопласт этой марки имеет удельное сопротивление 10^{17} В/м, а органическое стекло на 7 порядков меньше. В качестве жидкости использовалось техническое масло с вязкостью 75 сСт.

Во втором варианте между фторопластом и органическим стеклом вставлялась латунная вставка толщиной 2 мм с таким же диаметром. В обоих случаях геометрические размеры каналов были одинаковыми. Канал с такими данными представляет начальный участок трубы, где происходит формирование профиля скорости от прямоугольного, до параболического. Здесь же происходит основное ускорение ядра течения и значительное падение давления [3].

Проведенные исследования для канала первого вида (без латунной вставки) показали возникновение свечения жидкости от границы раздела диэлектриков в направлении движения потока при скорости около 15 м/с (Рис.2).

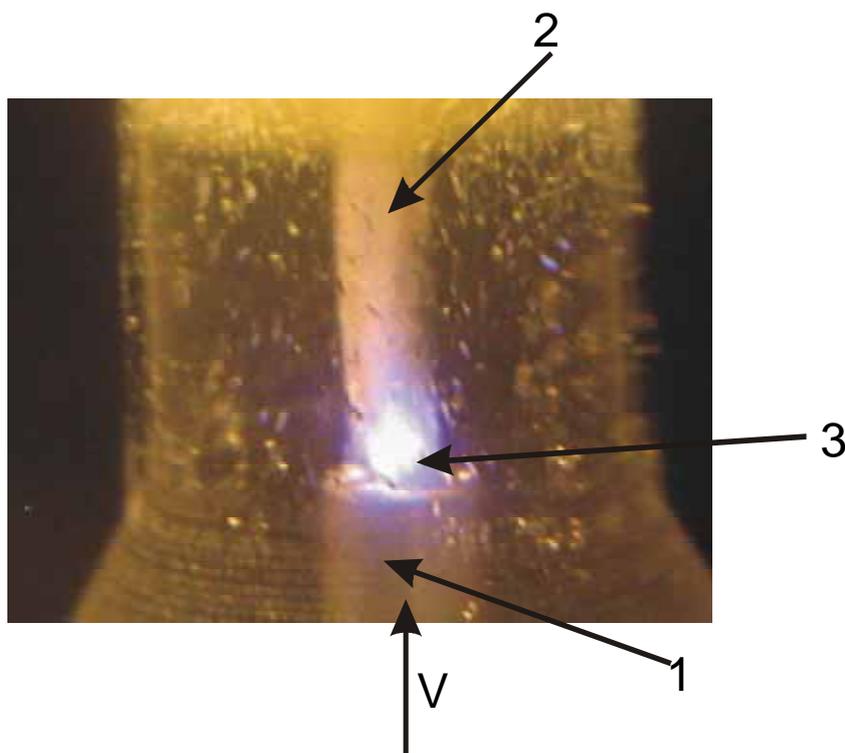


Рис. 2 Свечение жидкости в составном канале фторопласт-оргстекло.

Здесь (1) – канал из фторопласта, (2) – продолжение канала из органического стекла, (3) – область свечения жидкости на границе раздела диэлектриков. Жидкость движется снизу вверх.

С ростом скорости потока, область свечения увеличивается. При регистрации свечения фотоэлектронным умножителем, установлена его дискретность в виде отдельных вспышек с частотой до 50 КГц, сопровождающиеся электромагнитной помехой в радиодиапазоне. Наблюдается хорошая корреляция по времени вспышки света с электромагнитной помехой. При резком увеличении скорости потока, яркость свечения также возрастает.

Причина свечения связана с электризацией стенки канала и жидкости. В начальном участке канала на длине 5-10 калибров происходит основной разгон ядра течения и падение давления. Это приводит к мелкопузырьковому вскипанию растворенных газов в жидкости и образованию заряда на стенке канала и в жидкости. Вторым фактором образования зарядов на стенке является проявление электрофизических свойств материала канала. Фторопласт (политетрафторэтилен $(CF_2 - CF_2)_n$) является хорошим изолятором, работа выхода электронов составляет $\Delta(\epsilon\phi) = 10,1$ эВ. Этот параметр часто определяется по возникновению тока эмиссии с поверхности материала при некотором значении напряженности электрического поля (эффект Шотки).

$$\Delta(\varepsilon\varphi) = \varepsilon^3 E^{1/2}$$

Для фторопласта $E_{кр} = 7 \cdot 10^8$ В/см. Фторопласт, как и многие фторсодержащие материалы, имеет большую величину сродства к электрону. Это объясняется наибольшим значением электроотрицательности у фтора. Необходимо также отметить, что фторопласт является не только гидрофобным материалом, но и олеофобным. И в этом случае в начальном участке канала может происходить проскальзывание жидкости относительно стенок канала [4].

При движении жидкости формируется двойной электрический слой с отрицательным потенциалом на стенке канала и положительным в жидкости. При скорости потока 15 м/с напряженность поля еще мала для возникновения полевой эмиссии на стенке канала из фторопласта, но достаточна для возникновения эмиссии на стенке канала из органического стекла. В результате эмиссионный ток возбуждает часть молекул жидкости с излучением последними квантов света в виде наблюдаемого свечения..

В экспериментах с размещением латунной вставки между фторопластом и оргстеклом также наблюдалось свечение. Как и в первом варианте канала, здесь также формируется двойной электрический слой на стенке из фторопласта. Его интенсивность растет с увеличением скорости потока. Как известно, работа выхода электронов у металла намного меньше, чем у диэлектрика и здесь свечение более интенсивное, чем в канале без металлической вставки при той же скорости потока 15 м/с. (Рис. 3).

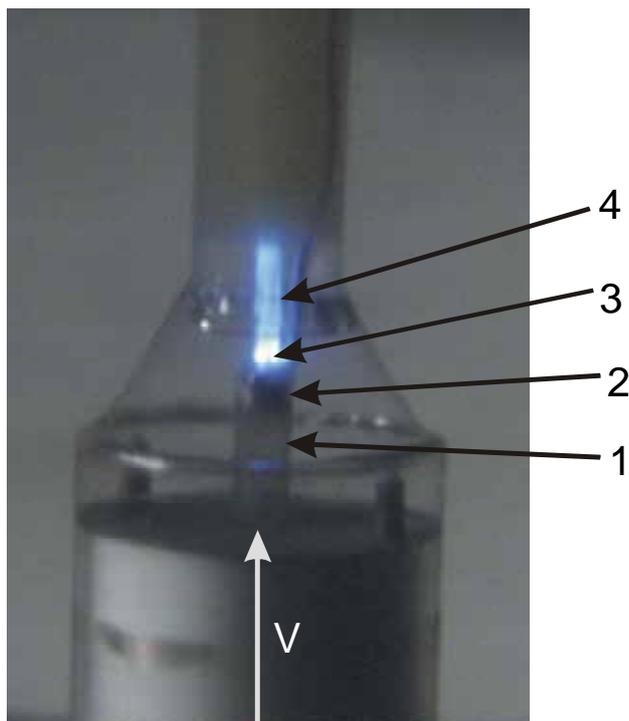


Рис. 3. Свечение жидкости в канале за латунным кольцом.

Здесь (1) – канал из фторопласта, (2) – латунное кольцо, (3) – область свечения жидкости за латунным кольцом, (4) – продолжение канала из органического стекла. Жидкость движется снизу вверх.

Наиболее яркая область свечения наблюдается над латунным кольцом, где происходит полевая эмиссия электронов и возбуждение молекул жидкости. Далее по потоку происходит рекомбинация молекул жидкости, которая наблюдается в виде голубоватого свечения.

Интенсивное свечение в канале приводит к повышению температуры жидкости. Измерения показали, что температура жидкости на выходе канала повышается на 10 градусов. Процесс полевой эмиссии характеризуется не только разогревом поверхности канала и жидкости, но и разрушением стенок канала за счет движения к ней положительных ионов. Разрушение происходит как кромки канала, так и стенки из органического стекла (Рис. 4 а, б)



Рис. 4 а, б. Торец канала до начала эксперимента и через 30 мин.

Регистрация свечения фотоэлектронным умножителем показала, что свечение в виде вспышек происходит и при постоянном давлении. Однако интенсивность свечения возрастает при резких пульсациях скорости.

На Рис. 5 представлена осциллограмма интенсивности свечения (3), электромагнитного фона (2) при квазистатическом изменении давления (1) перед входной кромкой канала. Наблюдается хорошая корреляция между вспышкой света и электромагнитной помехой.

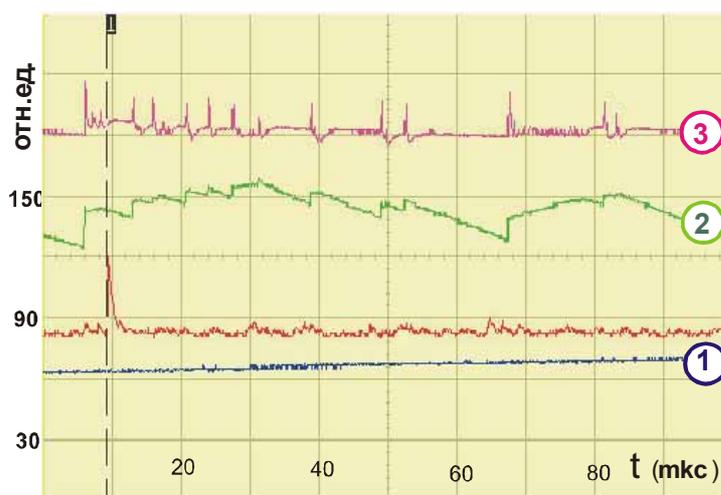


Рис. 5. Осциллограмма интенсивности свечения (3), электромагнитного фона (2), при квазистатическом изменении давления (1).

В ходе проведения экспериментальных исследований также установлено, что электропроводность жидкости существенным образом влияет на электризацию и, соответственно, на интенсивность свечения. Аналогичные результаты были получены в расчетах [5].

Таким образом, согласно проведенным экспериментальным исследованиям течения слабо проводящей жидкости в канале с меняющимися электрофизическими свойствами, обнаружено новое явление – свечение жидкости. В результате электризации стенки канала и жидкости образуются области с большой напряженностью электрического поля. Это приводит к образованию эмиссионного тока с возбуждением молекул жидкости. Свечение возникает на границе изменения электрофизических свойств материала канала и является следствием флюоресценции жидкости. В результате автоэлектронной эмиссии происходит разрушение стенки канала. Свечение имеет дискретный характер и сопровождается электромагнитной помехой.

Литература

1. Баранов Д. С., Бухарин Н.С., Герценштейн С.Я., Монахов А.А. Электризация слабопроводящей жидкости в тонком диэлектрическом канале //Тезисы докладов XIII школы-семинара «Современные проблемы аэрогидродинамики». 5-15 сентября 2005 г. Сочи, «Буревестник» МГУ. М.: Изд-во МГУ, 2005.с.14.
2. Монахов А.А. Электризация при течении диэлектрической жидкости в диэлектрическом канале.// Тезисы докладов международной конференции «Нелинейные задачи теории гидродинамической устойчивости и турбулентность». 26 февраля –5 марта 2006г. Моск. Обл. пансионат Управление делами Президента РФ «Лесные дали». МГУ. М.: Изд-во МГУ, 2006.с.76.
3. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. Изд-во «Наука», М. 1974.
4. S. M. Dammer and D. Lohse, Phys. Rev. Lett. 96, 206101 (2006).
5. Панкратьева И.Л., Полянский В.А. Образование сильных электрических полей при течении жидкости в узких каналах // Доклады РАН. 2005. Т.403. №5. С. 619-622.