

УДК 532; 534.2; 532;537

ЭЛЕКТРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ НА МНОЖЕСТВЕННЫХ КОНЦЕНТРАТОРАХ ТОКА

В. С. Тесленко, Г. Н. Санкин, А. П. Дрожжин

(Новосибирск)

Введение. Данная работа связана с проблемами разработки акустических излучателей на основе многоочаговых электрических разрядов в электролитах. Акустические излучатели такого типа изучались преимущественно в режиме одиночных импульсов [1-4]. Исследования самого разряда в электролитах велись с целью коммутации токов и при изучении физики плазмы [5, 6]. Как правило, исследования электрических разрядов в электролитах велись в пределах первого разрядного импульса и для значительных энергий в накопителях ($Q > 10$ Дж). Впервые возможность получения осцилляционных режимов разряда в электролитах на одиночных электродах и диафрагме отмечена в работах [1, 5, 7]. Начиная с работ [8, 9] авторами доклада ведутся системные исследования автоколебательных процессов при электрическом разряде в электролитах. К настоящему времени нам не известны работы по исследованиям синхронизации автоколебательных процессов на множественных токовых концентраторах, располагаемых в электролитах. В данной работе исследуется возможность генерации периодических акустических сигналов в жидкости с целью их усиления на основе формирования электрогидродинамических автоколебательных процессов на множественных концентраторах тока (диафрагмах, электродах). С этой целью изучаются механизмы и критерии развития автоколебательных процессов на N концентраторах ($N = 1 \div 100$) для различных систем и условий разрядов.

Постановка экспериментов. На рис. 1 представлена принципиальная схема постановки экспериментов. На рис. 1, а приведена электрическая схема, состоящая из заряжаемого до необходимого напряжения U конденсатора $C = 2 \div 100$ мкФ, механического коммутатора K и шунта R , к которому подключался цифровой осциллограф TDS 210 (Tektronix, 8 бит) с последующей записью сигналов на персональный компьютер. В экспериментах осуществлялась теневая киносъемка с использованием цифровой камеры (SensiCam Fast Shutter, PCO, Kelheim, Германия). Теневая фотосъемка проводилась с использованием той же камеры с помощью ксеноновой лампы ИСШ-400 (длительность вспышки 1 мкс). Использовались водные растворы поваренной соли с концентрацией $1 \div 20$ %. Испытывались три схемы концентраторов тока: 1) с диафрагмами (рис. 1, а); 2) с металлическими электродами на диэлектрической стенке (рис. 1, б); 3) с удлиненными изолированными металлическими электродами с токопроводящим срезом на торце (рис. 1, в). Свечение регистрировалось с помощью ФЭУ-35 (спектральный диапазон $300 \div 600$ нм).

Результаты экспериментов. В качестве примера на рис. 2 представлена одна из осциллограмм тока (луч 1) и светового излучения (луч 2) для одиночного удлиненного

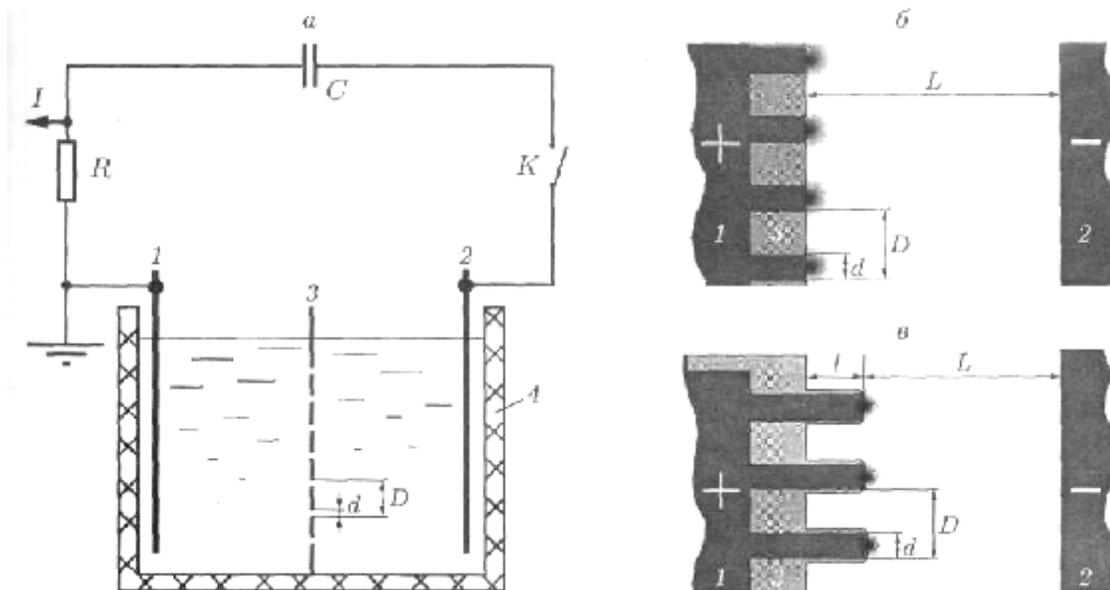


Рис. 1. Принципиальная схема постановки экспериментов

а — с токовыми концентраторами в виде отверстий в диэлектрической пленке; б — с металлическими токовыми концентраторами, выходящими на поверхность диэлектрика; в — с удлиненными металлическими токовыми концентраторами; 1, 2 — металлические электроды, 3 — диэлектрик, 4 — кювета с электролитом, C — конденсатор, K — коммутатор, R — шунт для регистрации тока I на осциллографе, d — диаметр концентратора, D — расстояние между концентраторами, L — расстояние между электродами, l — размер удлиненной части металлического концентратора

электрода ($l = 10$ мм, $d = 0,35$ мм), на рис. 3 — соответствующая фазовая диаграмма для тока. Представленный пример токовых осциллограмм и их фазовых характеристик свидетельствует о том, что мы имеем дело с затухающим автоколебательным процессом. Затухание происходит за счет падения напряжения на конденсаторе, что указывает на устойчивость автоколебательного процесса в определенном интервале напряжений для заданных диаметров концентраторов тока.

Для выявления механизма развития и динамики автоколебательных процессов на токовых концентраторах осуществлялась теневая фотосъемка совместно с регистрацией тока I . При этом момент фотосъемки контролировался на втором луче осциллографа сигналом от импульса лампы подсветки. Отметим, что при совместной регистрации тока и свечения пики свечения соответствуют стадии падения тока на каждом цикле (см. рис. 2).

На рис. 4 представлены отдельные кадры теневой съемки для основных стадий электрогидродинамических процессов, происходящих на торце одного ряда стальных электродов со средним диаметром $d = 0,4$ мм (число электродов $N = 32$), залитых в эпоксидную смолу, и соответствующие токовые осциллограммы (луч 1) с метками момента фотосъемки (луч 2). Исследования были выполнены с диафрагменными концентраторами из лавсана ($d = 0,4 \div 0,5$ мм, $N = 1, 2, 100$), с медными и стальными концентраторами ($d = 0,2 \div 0,7$ мм, $N = 1, 3, 32$). Автоколебательные процессы исследованы в интервале напряжений до 400 В.

Из данных экспериментов следует, что генерируемые электрическим током пузырьки при расширении являются прерывателями тока, а при схлопывании — коммутаторами тока. Этот процесс обеспечивает автоколебательный режим рассматриваемой системы. Размеры и динамика пузырьков зависят от среднего удельного тока $i \sim N^1 I / d^2$ [А/мм²] или

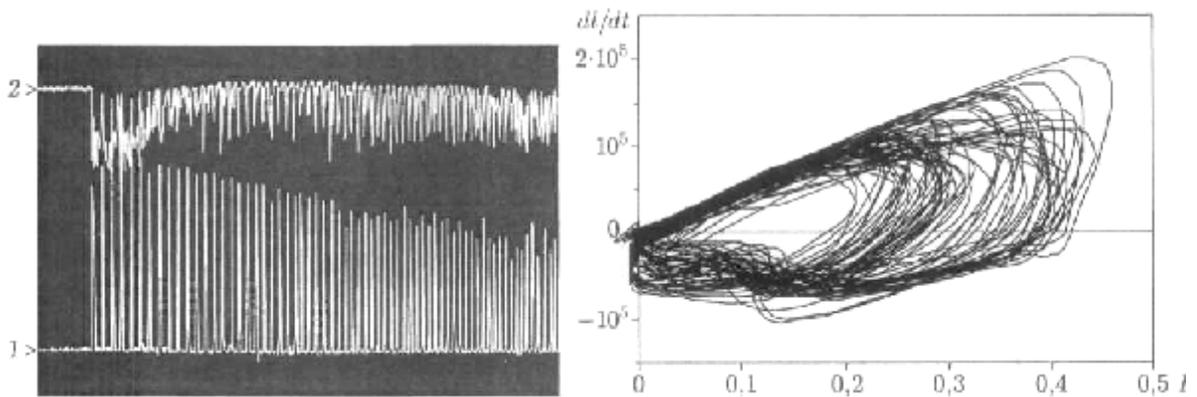


Рис. 2

Рис. 3

Рис. 2. Осциллограммы тока (1) и светового излучения (2)

Рис. 3. Фазовый портрет тока

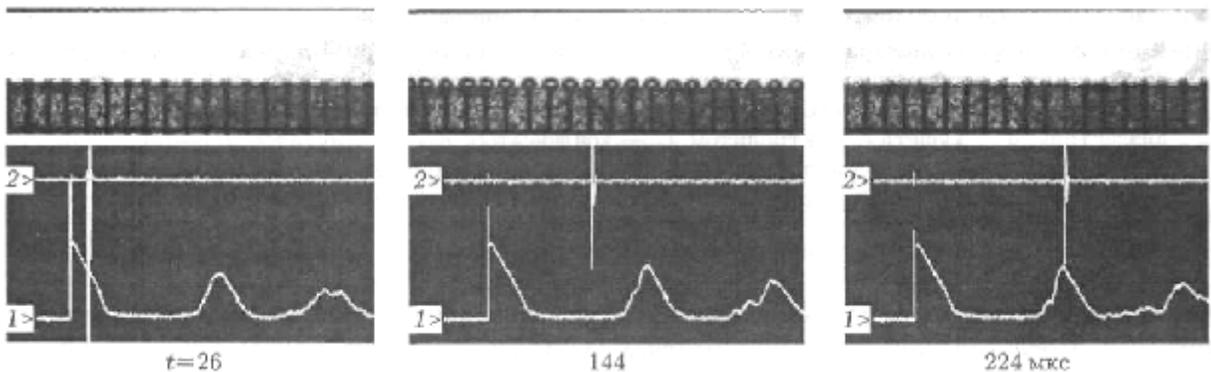


Рис. 4. Кадры теневой съемки образования пузырьков для стальных электродов ($d = 0,4$ мм, $N = 32$), залитых с эпоксидную смолу, и соответствующие токовые осциллограммы (1) с метками момента фотосъемки (2)

удельной мощности $p \sim iU$ [кВт/мм²] на каждом концентраторе, которые в свою очередь зависят от параметров устройства d, D, L , проводимости электролита и напряжения между электродами 1 и 2 (см. рис. 1). По аналогии с работой [8] рассмотрен вопрос о пределах существования автоколебательных режимов. Отметим, что нижний предел (порог) определяется рядом параметров: удельной энергией фазового перехода используемого электролита, напряжением, металлом и площадью концентратора, учет которых в целом можно свести к одному параметру i или p . Например, для одной диафрагмы ($d = 0,4$ мм) в 20 %-м растворе в среднем порог автоколебаний составлял p_p да 200 Вт/мм². Верхний предел существования автоколебаний определяется исчезновением автоколебаний тока, происходит смена механизма разряда. Для множественных концентраторов ограничение происходит также за счет коалесценции соседних пузырьков и определяется вводом энергии в пузырек: $q_r = (4/3) pR^3 P_0$ (R — радиус пузырька; P_0 — гидростатическое давление в жидкости), которая не должна превышать $Q_r = (1/6) pD^3 P_0$. Выявлено, что для различных диаметров

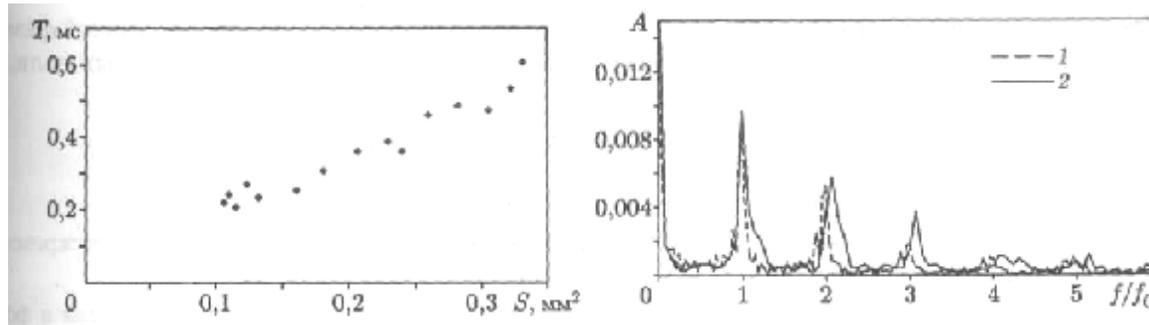


Рис. 5. Зависимость средних значений периодов колебаний тока T от средней площади S для двух концентраторов тока

Рис. 6. Нормированные фурье-спектры для токовых осциллограмм
1 — один электрод ($f_0 = 16$ кГц); 2 — три электрода ($f_0 = 13$ кГц)

электродов d_n при прочих равных условиях интегрально развиваются автоколебательные процессы с биениями. Это обусловлено тем, что для различных площадей концентраторов уже на начальной стадии закладывается разность фаз в виде разности задержек зажигания разрядов. При этом пузырьки образуются с различными начальными скоростями роста и с различными максимальными размерами. Разброс по площадям концентраторов предопределяет частотные характеристики тока. При уменьшении дисперсии по размерам концентраторов и превышении вводимой энергии выше пороговых значений p_p биения уменьшаются.

Анализ осциллографических измерений тока, светового излучения и фотосъемки показал, что электрогидродинамический автоколебательный процесс на каждом токовом концентраторе состоит из следующих основных стадий: 1) токовый нагрев жидкости с фазовым переходом; 2) рост пузырька; 3) перекрытие концентратора пузырьком с падением тока; 4) формирование плазмы внутри пузырька; 5) коллапс пузырька с увеличением тока. Эти стадии повторяются циклично с периодом (частотой), зависящим от напряжения, проводимости электролита и геометрических размеров концентраторов тока: диаметра d или площади S . На рис. 5 представлены экспериментальные результаты измерений среднего значения периодов колебаний тока в зависимости от площади концентратора.

На рис. 6 представлены спектрограммы для регистрируемых амплитуд осцилляции тока A в зависимости от числа генерируемых «осцилляторов», которыми являются пузырьки. Из представленных осциллограмм и спектрограмм следует, что с увеличением числа излучателей спектр уширяется. Это обусловлено неидеальностью изготовления многоочаговых излучателей.

Выводы. Проведенные экспериментальные исследования показали возможность получения электрогидродинамических автоколебаний с помощью множественных концентраторов тока. С использованием описанных устройств можно создавать автоколебательные режимы для N осциллирующих источников с целью генерации и фокусировки акустических волн. Для поставленных целей важно получение осцилляции пузырьков на N концентраторах с высокой степенью когерентности, что в нашем случае должно удовлетворять наименьшему дисперсному разбросу размеров концентраторов $\delta = \max|d_n^2 - d_k^2|$. Например, для разброса $\delta \gg 7 \cdot 10^{-3}$ получен спектр, представленный на рис. 6. Следовательно, при совершенствовании технологии изготовления концентраторов с существенно меньшим

разбросом по размерам можно получать более высокую степень равенства начальной фазы развития процесса и более длительную когерентность для N источников звуковых волн.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pruengel F. High speed pulse technology. N.Y.; L.: Acad. press, 1965. V. 1. P. 476.
2. **Тесленко В. С., Экуков А. И., Митрофанов В. В.** Многоочаговый электроискровой разряд в жидкости // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21, вып. 18. С. 20-26.
3. **Тесленко В. С., Жуков А. И., Митрофанов В. В., Дрожжин А. П.** Генерация и фокусировка ударно-акустических волн в жидкости многоочаговым электрическим разрядом // ЖТФ. 1999. Т. 69, № 4. С. 138-140.
4. **Санкин Г. Н., Дрожжин А. П., Ломанович К. А., Тесленко В. С.** Многоочаговый диафрагменный электроразрядный генератор ударных волн жидкости // Приборы и техника эксперимента. 2004. Т. 47, № 4. С. 114-118.
5. **Лазаренко Б. Р., Фурсов С. П., Факторович А. А. и др.** Коммутация тока на границе металл — электролит. Кишинев: Изд-во АН МССР, 1971.
6. **Дробышевский Э. М., Жуков Б. Г., Резников Б. И., Розов С. И.** Излучение и равновесный состав плазмы импульсного диафрагменного разряда в электролитах // ЖТФ. 1977. Т. 47, вып. 2. С. 255-262.
7. **Жуков М. Ф., Дандарон Г.-Н. Б., Замбалаев Ж. Ж., Федотов В. А.** Исследование поверхностных разрядов в электролите // Изв. СО АН СССР. 1984. № 4, вып. 1. С. 100-104.
8. **Тесленко В. С., Дрожжин А. П., Карташов А. М.** Генерация автоколебательных процессов при диафрагменном разряде в электролите // Письма в ЖТФ. 2001. Т. 27, № 20. С. 83-88.
9. **Дрожжин А. П., Карташов А. М.** Импульсный диафрагменный разряд в жидкости // Динамика сплошной среды / РАН. Сиб. отд-ние. Ин-т гидродинамики 2001. Вып. 117. С. 130-132.