

03;04

Генерация автоколебательных процессов при диафрагменном разряде в электролите

© В.С. Тесленко, А.П. Дрожжин, А.М. Карташов

Институт гидродинамики СО РАН, Новосибирск

E-mail: teslenko@hydro.nsc.ru

Поступило в Редакцию 10 мая 2001 г.

Обнаружены и исследованы электрогидродинамические автоколебания парогазового пузырька и электрического тока для диафрагменного электрического разряда в электролите. Определены режимы электрогидродинамических автоколебаний в интервале 200–900 V для отверстий с диаметрами 0.3–0.9 mm. Выявлена верхняя область существования стабильных релаксационных автоколебаний.

На данный момент изучению свойств диафрагменного разряда посвящено ограниченное количество работ. Например, в работах [1,2] целью исследований было получение плотной плазмы в конденсированной среде для энергий накопителя до 7.5 kJ при напряжениях на емкостном накопителе до 10 kV. В настоящей работе авторами ставятся иные задачи: возбуждение стабильных автоколебаний пузырька в электрической цепи с помощью диафрагменного электрического разряда в электролите, выявление области существования релаксационных колебаний тока, определение частотных характеристик автоколебательной системы.

В данной работе представлены результаты исследования генерации релаксационных автоколебаний тока и автоколебаний пузырька для диаметров отверстий диафрагм $d = 0.3\text{--}0.9\text{ mm}$. Диафрагмы изготавливались из лавсановой пленки толщиной $h = 50\text{ }\mu\text{m}$ и располагались вертикально. В качестве электролита использовался водный раствор поваренной соли с весовой концентрацией $k = 1\text{--}5\%$. Плоские электроды из нержавеющей стали располагались в двух объемах электролита, разделенного лавсановой диафрагмой, на расстоянии $H > 10d$ от отверстия диафрагмы. Площадь поверхности каждого электрода превышала площадь отверстия диафрагмы более чем на порядок. В экспериментах использовался емкостный накопитель со сменными конденсаторами

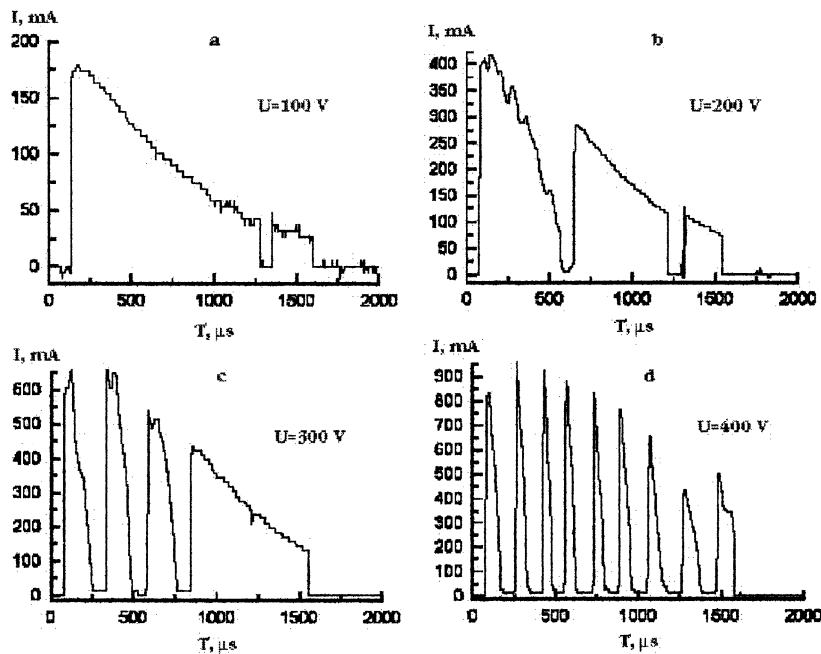


Рис. 1. Динамика развития переходных ("пороговых") процессов в режим стабильных релаксационных автоколебаний тока при изменении исходного напряжения на конденсаторе ($C = 2 \mu\text{F}$) U : $a - U = 100 \text{ V}$, $b - U = 200 \text{ V}$, $c - U = 300 \text{ V}$, $d - U = 400 \text{ V}$ для диафрагмы $d = 0.5 \text{ mm}$.

($C = 2-100 \mu\text{F}$) и контактный коммутатор тока с электромагнитным приводом. Ток, протекающий в электрической цепи, контролировался малоиндуктивным шунтом Паркера $R = 0.148 \Omega$. Динамика гидродинамических процессов регистрировалась теньевыми методами с помощью фоторегистраторов типа СФР, ЖФР.

Результаты экспериментов. На рис. 1 представлена динамика развития переходных процессов в режим релаксационных автоколебаний тока в зависимости от исходного напряжения на конденсаторе U ($a - U = 100 \text{ V}$, $b - U = 200 \text{ V}$, $c - U = 300 \text{ V}$, $d - U = 400 \text{ V}$) для диафрагмы $d = 0.5 \text{ mm}$. Из приведенных осциллограмм тока сле-

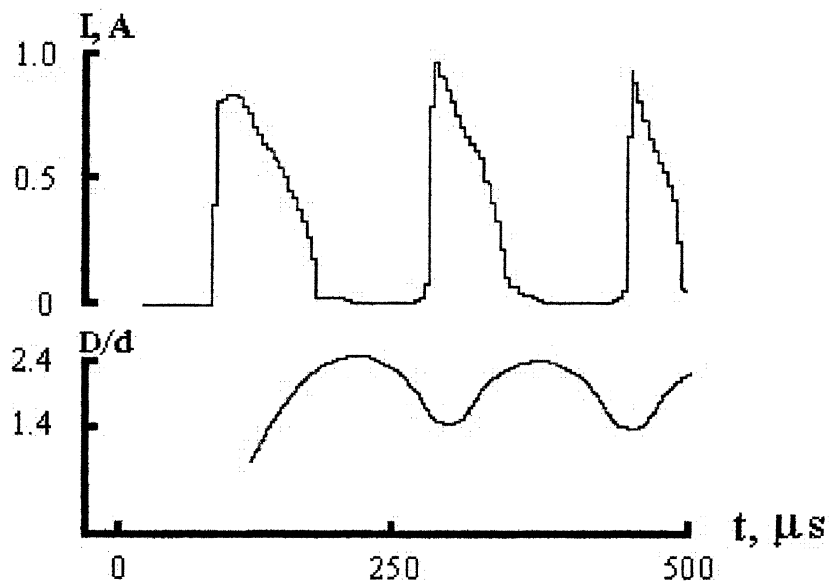


Рис. 2. Результаты синхронной регистрации тока и киносъемки пульсаций пузырька (обработанные в безразмерном виде D/d и в едином масштабе времени) для: $d = 0.5 \text{ mm}$, $U = 500 \text{ V}$, $k = 1\%$.

дует, что выход на режим стабильных автоколебаний носит пороговый характер по напряжению.

На рис. 2 приведены в едином масштабе времени результаты регистрации тока и обработки фоторегистрограммы в безразмерном виде (D/d) пульсаций границы пузырька $D(t)$ при $d = 0.5 \text{ mm}$, $U = 500 \text{ V}$, $k = 1\%$. Визуальные наблюдения, фото- и киносъемка показали, что начальная стадия электрогидродинамических процессов соответствует развитию коронного разряда по периметру диафрагмы. Начальная форма пузырька соответствует тору. Затем из торообразного пузырька за время первой пульсации формируется сферический пузырек. Последующие радиальные пульсации пузырька происходят относительно центра диафрагмы. Закон пульсаций пузырька близок к закону Рэлея. Вблизи размеров пузырька $D/d \approx 2.4$ ток обрывается, т. е. пузырек выполняет функцию размыкателя. При схлопывании пузырька

до размера $D/d = 1.2-1.4$ происходит замыкание тока. Этот процесс циклично повторяется до потери энергии в накопителе. На рис. 1, d легко отслеживается динамика коммутации тока, периоды и длительности токовых импульсов с падением напряжения на накопителе.

Из рис. 2 следует, что вблизи минимального размера пузырька наблюдается максимальная амплитуда тока, а вблизи максимального размера пузырька наблюдается минимум тока. Минимальный диаметр пузырька всегда превышает диаметр отверстия диафрагмы. Компенсация потери энергии при пульсациях пузырька осуществляется за счет электрического разряда, возникающего в пузырьке по периметру отверстия диафрагмы при $D/d \approx 1.2-1.4$.

Эксперименты показали, что период релаксационных автоколебаний тока в области устойчивых автоколебаний слабо зависит от концентрации электролита и напряжения. Наиболее выраженной и важной зависимостью автоколебательных процессов от параметров испытываемой системы является зависимость периода релаксационных автоколебаний тока T от диаметра отверстия диафрагмы d , mm, которая аппроксимируется в виде зависимости: $T \approx 390d \mu s$.

Для исследованного диапазона параметров d и U токовые импульсы униполярны, имеют крутой фронт нарастаний и время спада $t \sim (0.2-0.5)T$. Динамика спада токовых импульсов зависит от напряжения на накопителе (рис. 1).

Эксперименты показали, что устойчивый автоколебательный режим возникает в ограниченной области параметров напряжений U и диаметров диафрагм d . Определены верхние граничные значения диаметра диафрагм и напряжений, до которых могут возникать автоколебательные режимы. Минимальные напряжения, при которых начинают развиваться автоколебания, мы называем "пороговыми" снизу, а напряжения, при которых начинают развиваться неустойчивости, мы называем "граничными" сверху.

На рис. 3 представлена диаграмма верхней области существования электрогидродинамических автоколебаний. За пределами указанной области справа устойчивые автоколебания не развиваются. Повышение напряжения приводит к неустойчивости автоколебательных процессов, резкому росту тока, развитию коронного разряда по всему сечению диафрагмы, росту размера пузырька до $D > 3d$.

Разрушение стабильного автоколебательного процесса может быть связано с рядом причин, таких как смещение центра пузырька от

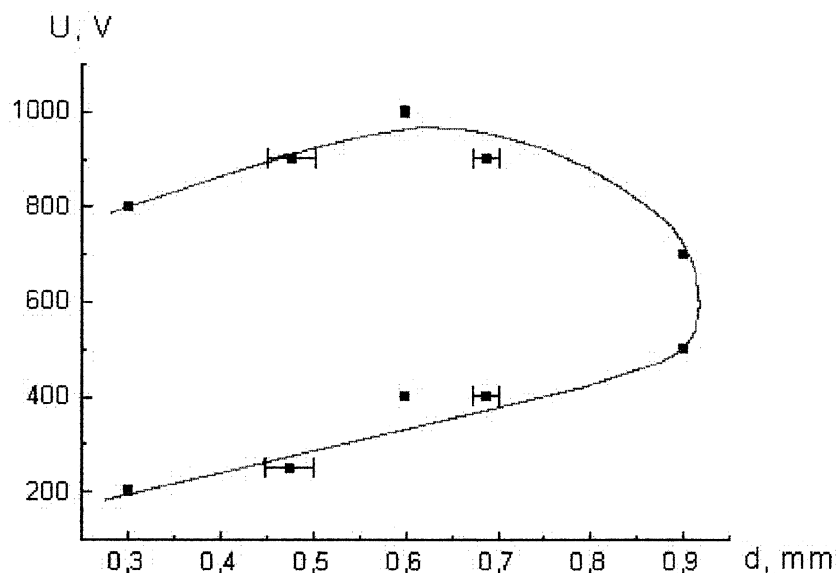


Рис. 3. Диаграмма области существования электрогидродинамических автоколебаний. За пределами указанной области (справа) устойчивые автоколебания не развиваются.

центра диафрагмы, развитие неустойчивости поверхности пузырька при схлопывании при $D > 3 \text{ mm}$ и т.д. Динамика развития процессов для диафрагменного разряда при дальнейшем повышении напряжения (т.е. для $D > 5d$) описана в [1,2].

Анализ результатов. Выводы. Из данных экспериментов следует:

1. С помощью диафрагменного разряда в электролите можно генерировать автоколебательные процессы тока и пузырька. Нелинейным параметром электрической цепи является диафрагменная ячейка, определяемая в электрической цепи как нелинейное сопротивление [3], зависящее от плотности тока в отверстии диафрагмы, минимального и максимального размеров пузырька.

2. Экспериментально показано, что размыкание тока совершается пузырьком. Прерывание тока осуществляется вблизи максимального размера пузырька $D = 2.4d$. В период гидродинамического схлопывания

пузырька до $D = 1.2-1.4d$ происходит включение тока с возникновением коронного разряда по периметру отверстия диафрагмы и дополнительным выделением электрической энергии, что обеспечивает последующую пульсацию пузырька. Таким образом, электрогидродинамический процесс коммутации тока с циклическим выделением и потерей энергии в отверстии диафрагмы повторяется в виде автоколебательного режима.

3. Важными параметрами рассмотренной автоколебательной системы являются периоды пульсаций пузырька и тока (T), с циклическим видовым преобразованием энергии, в виде электромагнитного излучения, света, тепла, гидродинамических импульсов, акустических волн. Из результатов проведенных исследований для диапазона отверстий 0.3–0.9 mm следует, что период пульсаций системы подчиняется зависимости $T \sim Kd$ ($K = 380 \mu\text{s/mm}$). При этом токовые импульсы униполярны, имеют крутой фронт нарастания и время спада $t \sim (0.2-0.5)T$.

4. Обнаруженный автоколебательный процесс может быть использован в задачах акустики, гидродинамики, электродинамики, биофизики и ряде других задач при моделировании и разработке автоколебательных систем на основе использования фазовых переходов в жидких средах.

Авторы выражают благодарность В.В. Митрофанову и А.П. Ершову за полезные обсуждения работы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 00-02-17992.

Список литературы

- [1] Дробышевский Э.М., Дунаев Ю.А., Розов С.И. // ЖТФ. 1973. Т. 43. В. 6. С. 1217–1221.
- [2] Резников Б.И., Жуков Б.Г., Сосновский Ф.В. // ЖТФ. 1977. Т. 47. В. 12. С. 2487–2496.
- [3] Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. М.: Физматгиз, 1959. 916 с.