

*Боромбаев М.К., Ордобаева Ч.Т., Тынаев А.Дж., Шаршембиев К.А.*

## БАРЬЕРНО-ПОВЕРХНОСТНЫЙ РАЗРЯД НА ДВУХЖИЛЬНОМ ПРОВОДЕ В УСЛОВИЯХ РЕЗОНАНСА

УДК: 533.521 (575.2) (04)

В данной работе приведены результаты разработки и изготовления озонатора на барьерно-поверхностном разряде работающего при резонансе напряжения. Определена оптимальная емкость и длина двухжильного провода при которой в цепи источника озонатора наступает резонанс. Оптимальная длина двухжильного провода составляет 44 м, а динамическая ёмкость 5,4 нФ. Установлено, что в условиях резонанса напряжения на двухжильном проводе превышает напряжения источника в три раза, а ток почти в 10 раз.

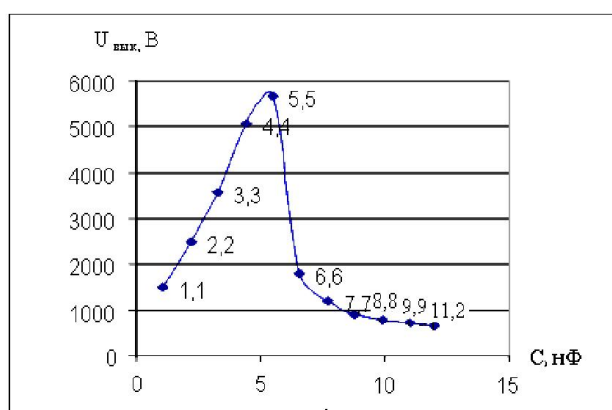
**Введение.** Барьерным называется разряд в газе атмосферного давления между электродами разделенными диэлектриком. Барьерный разряд (БР) возникает при подаче высокого переменного напряжения. Он состоит из отдельных кратковременных искорок, температура электронов в искрах достигает 30000К, температура газа низкая, комнатная ~300К [1]. Под действием плазмы в искрах происходит диссоциация молекул в результате, в частности, может образовываться озон из кислорода воздуха или чистого кислорода. БР известен уже давно. Уже в 1895 г. были созданы промышленные установки для получения озона и обеззараживания питьевой воды. С тех пор такие установки используются во многих передовых странах мира. Это основное назначение озонаторов на основе БР [2]. Озон находит применение в обеззараживании сточных вод, воздуха в помещениях, больницах, фруктовых хранилищах, используется при получении физиологически активных жидкостей и др. [2,3].

Несмотря на большую историю развития озонаторов с БР, есть еще много вопросов, которые подлежат исследованию. Наряду с известным классическим БР, в настоящее время разрабатываются и другие виды БР с целью сделать их более простыми по изготовлению, с меньшими затратами энергии для получения озона и для использования БР в других приложениях кроме получения озона [3].

Разработанные принципиальные схемы озонаторов отличаются простой конструкцией, надежностью работы и эффективностью генерации озона.

### 1. Определение условий резонанса для барьерно-поверхностного разряда на двухжильном проводе.

Для исследования БПР в условиях резонанса и вне резонанса необходимо увеличить индуктивность или емкость электрической схемы установки до выполнения условия резонанса. Из электрической схемы установки представленной на рис.1. видно, что схема состоит из большого индуктивного сопротивления, защищающего генератор ТГ-1020-КУ-2 от короткого замыкания и емкости, которая зависит от длины двухжильного провода, на котором исследуется БПР. Источник, индуктивность и емкость в цепи соединены последовательно. У генератора ТГ-1020-КУ-2 максимальный ток короткого



**Рис.2.** Зависимость выходного напряжения трансформатора от емкости конденсатора.

замыкания при выходном напряжении 10 кВ составляет 25-30 мА. Из этого паспортного данного генератора можно определить величину индуктивного сопротивления генератора. Если, пренебречь активным сопротивлением обмотки трансформатора и катушки индуктивности по сравнению с индуктивным сопротивлением катушки индуктивности, включенного последовательно вторичной обмотке трансформатора то, для случая короткого замыкания, по расчету, резонанс в цепи исследования должна наступить при емкости двухжильного провода приблизительно равной 8 нФ для частоты 50 Гц [4].

Для точного определения резонансной емкости двухжильного провода была собрана установка, электрическая схема которой представлена на рис.1. Схема состоит из генератора ТГ-1020-КУ-2 и емкости конденсаторов, непосредственно включенной на выход генератора.

В схеме показаны обмотки высоковольтного трансформатора ТГ-1020-КУ-2, индуктивное и активное сопротивления встроенной катушки индуктивности, емкость переменного конденсатора и сопротивления делителя напряжения, с помощью которого измерялись выходные напряжения.

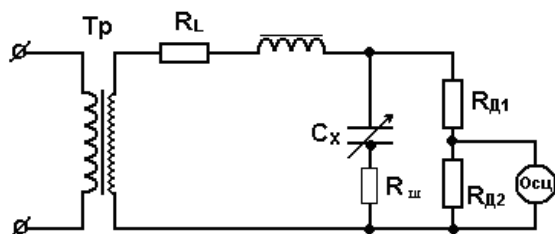


Рис.1. Электрическая схема установки по определению резонансной емкости.

При постоянном входном переменном напряжении с частотой 50 Гц емкость переменного конденсатора изменялась от 1,1 нФ до 12 нФ. График зависимости выходного напряжения от емкости конденсатора представлен на рис. 2. Из графика видно, что с увеличением емкости конденсатора от 1,1 нФ до 5,4 нФ выходное напряжение возросло почти в 6 раз. Дальнейшее увеличение емкости конденсатора привело к уменьшению выходного напряжения до первоначального значения. Таким образом, максимум резонанса достигается при емкости 5.4 нФ.

Для разработки озонатора на двухжильном проводе, работающего в режиме резонанса необходимо определить длину двухжильного провода с емкостью приблизительно равной 5.4нФ.

Исследования БПР на двухжильном проводе проводились при длинах 10, 15, 20, 25,30,35, 44,50, 60, 100, и 115 м. Результаты исследования приведены на рис.3. Из графика видно, что с увеличением длины двухжильного провода наблюдается динамика роста напряжения БПР с ярко выраженным максимумом при длине провода 44 м. Измерения проводились при постоянном входном напряжении трансформатора 50 В.

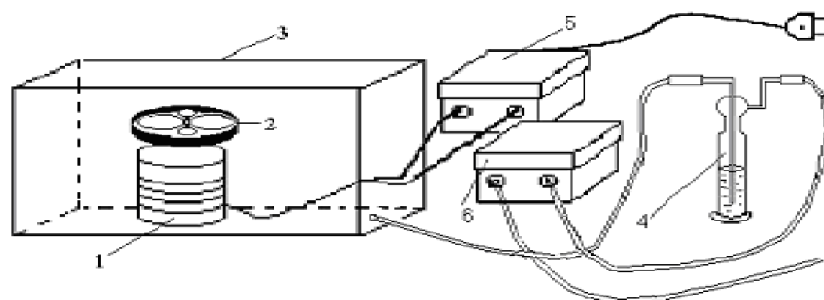


Рис.4. Установка реактора. 1-озонатор, 2-вентилятор, 3-каркас реактора, 4-барботер, 5-высоковольтный трансформатор ТГ-1020-КУ-2, 6-компрессор.

При таком входном напряжении повышающий трансформатор на выходе дает напряжение порядка 2200 В в режиме холостого хода. Из графика также видно, что напряжение на выходе при длине провода порядка 10 м ниже напряжения холостого хода, что объясняется падением напряжения на внутреннем сопротивлении источника. С увеличением длины провода без

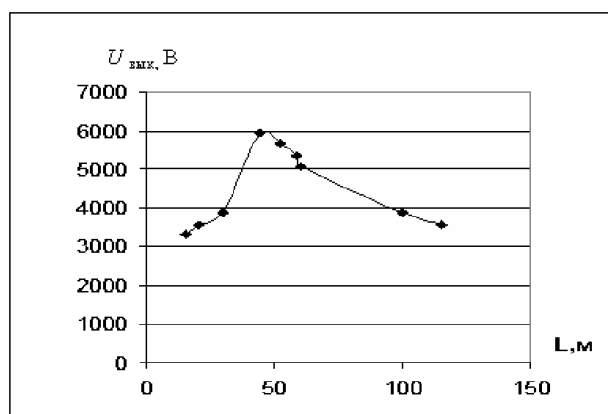


Рис.3. Зависимость напряжения на двухжильном проводе от длины провода.

изменения входного и соответственно выходного напряжения трансформатора наблюдается рост напряжения на двухжильном проводе и оно достигает максимума при длине провода 44 м. При этом напряжение на двухжильном проводе превышает напряжение источника почти в три раза и на двухжильном проводе наблюдается сильный барьерный разряд. Ток разряда увеличивается от 1,2 мА до 12 мА, такой рост тока может быть обусловлен только резонансными явлениями. Поскольку цепь является последовательным, в цепи должна наблюдаться, при выполнении условия резонанса, резонанс напряжений. Рост тока объясняется уменьшением реактивных составляющих электрических сопротивлений цепи при резонансе. Таким образом, при длине двухжильного провода равной 44 м его емкость равняется 5,4 нФ и дает возможность создать на основе этих данных озонатор, работающий в условиях резонанса напряжений.

## 2. Разработка озонатора на двухжильном проводе.

Разработан и изготовлен реактор для озонирования материалов в лабораторных условиях (рис. 4 и 5). Каркас реактора четырехугольной формы размерами: длина 1,17 м, ширина 0,44 м, высота 0,42 м, объем 0,21 м<sup>3</sup> изготовлен из текстолита [5,6]. Внутри объема помещен озонатор, представляющий собой двухжильный провод длиной 44 метра, который намотан в виде спирали снаружи диэлектрического цилиндра.



Рис.5. Установка реактора.

Озоно-воздушная смесь перемешивалась встроенным вентилятором. С помощью компрессора небольшое количество газа отбиралось из реактора для определения концентрации озона. С целью визуального наблюдения БПР лицевая часть реактора герметично закрыта прозрачным стеклом. Двухжильный провод присоединяется к высоковольтному трансформатору ТГ-1020-КУ-2, на который подается переменное напряжение от лабораторного трансформатора (ЛАТР). Озонатор работает исключительно в условиях резонанса и имеет возможность повышать напряжение на активном элементе до 20-25 кВ. Активная мощность и наработка озона в зависимости от рабочего

напряжения увеличивается в 5-10 раз. Таким образом, озонатор, работающий в режиме резонанса наиболее эффективно для получения озона по сравнению с озонаторами на двухжильных проводах, работающих вне резонанса.

### Выводы

1. Определена оптимальная емкость, и длина двухжильного провода при которой в цепи источника озонатора наступает резонанс. Оптимальная длина двухжильного провода составляет 44 м, а динамическая ёмкость 5,4 нФ. Установлено, что в условиях резонанса напряжения на двухжильном проводе превышает напряжения источника в три раза, а ток почти в 10 раз.

2. Разработан и изготовлен озонатор на двухжильном проводе, работающий в условиях резонанса напряжений и исследованы его электрические и энергетические характеристики.

### Литература

1. Самойлович В.Г., Гибалов В.И., Козлов К.В./ Физическая химия барьерного разряда- М.: МГУ, 1989 –176 с.
2. Крапивина С.А. / Плазмохимические технологические процессы-Л: Химия, 1982 –248 с.
3. Энгельшт В.С. /Лекции по спецкурсу «Физика газового разряда», «Плазмохимическая технология»-Каракол: ИГУ им.К.Тыныстанова, 1999-2000.
4. Применение барьерного разряда в плазменной технологии. Отчет НИР, ЫГУ, Науч. руков. доц. Боромбаев М.К. Каракол, 2006, 40с.
5. Шаршембиев К.А., Малютина О. А. Боромбаев М.К. Реактор для озонирования материалов в стационарных условиях. -Мат IV межд. симп. по теор. и прак. плазмохимии. г. Иваново, 2005, с. 621-624.
6. Боромбаев М.К., Шаршембиев К.А., Малютина О.А. Барьерно-поверхностный разряд на двухжильном проводе. -Мат. Первой всероссийский конф. "Озон и его другие экологически чистые окислители". МГУ, Москва, 2005, Прилож. В электронном варианте 8 с.