

**ФИЗИКА. МАТЕМАТИКА. ТЕХНИКА**

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

**БАРЬЕРНЫЙ РАЗРЯД НА ПОДВИЖНОМ ДИЭЛЕКТРИКЕ ПРИ ПРИНУДИТЕЛЬНОМ ВРАЩЕНИИ РОТОРА**

УДК 533.521 (575.2) (04)

В данной работе приведены результаты подбора напряжения на барьерном разряде на подвижном диэлектрике при принудительном вращении ротора. Впервые исследованы вольткулоновская характеристика барьерного разряда на подвижном диэлектрике. Было показано, что с увеличением напряжения  $U_{эфф}$  увеличивается частота  $\nu$  вращения диэлектрика (ротора). По площади циклограмм рассчитаны активная мощность разряда  $W_a$ . Экспериментально выявлено, что при частоте принудительного вращения подвижного диэлектрика  $\nu = 12,5$  Гц происходит исчезновение разряда.

**Введение.** В последние годы проявляется интерес к исследованию разрядов в различной конструкции электростатических двигателей [1-11]. Но в настоящее время отсутствует достаточно полное объяснение всех особенностей формирования разрядов на подвижном диэлектрике.

Под руководством проф. В.С. Энгельшта в лаборатории «Физики и техники плазмы» БГУ исследуются барьерный разряд (БР) на подвижном диэлектрике при постоянном и переменном токах [12,13]. Эти исследования имеют ряд общих черт, но есть и отличия. Такие как, например, при постоянном токе БР существует тогда, когда диэлектрик вращается, а при подаче переменного тока – БР может существовать даже если угловая скорость равна нулю.

В [12,14] рассмотрен электростатический двигатель при постоянном токе. Изучены частота вращения ротора и статические и мощностные характеристики разряда. Оценен КПД двигателя. В работе [15] приведены результаты исследований БР на подвижном диэлектрике при переменном токе. Изучены частота автовращения ротора и электрические характеристики разряда.

В данной работе изучается БР атмосферного давления на подвижном диэлектрике при принудительном вращении ротора. Определена частота вращения (принудительная) ротора. Впервые исследованы вольткулоновские характеристики (ВКХ) барьерного разряда.

**1. Экспериментальная установка и методы измерений.** В экспериментальной установке был использован асинхронный двигатель с вентилятором. Ротор (рис.1) представляет собой диэлектрический диск 1, на котором имеется кольцеобразная медная дорожка 2, покрытая диэлектрической плёнкой 3, над которой

располагаются восемь ножеобразных электрода 4, к которым подаётся высокое переменное напряжение  $\approx U_{эфф}$  и возникает разряд 5. В данной установке межэлектродный зазор равнялся  $d = 0,8$ мм, расстояние между каждыми электродами  $L = 25$ мм, толщина диэлектрической плёнки  $\delta = 0,01$ мм.

При подаче достаточно высокого напряжения разряд с электродов идёт на поверхность, при этом на плёнку оседают заряды. Заряды на поверхности плёнки имеют тот же знак, что и данный электрод. Поэтому между электродами и осевшими зарядами возникают кулоновские силы отталкивания ( $F_{кул} \sim Q^2$ ), которые приводят во вращение ротор. Чем больше напряжение питания, тем больше величина тока и тем больше скорость вращения ротора [7]. В [11] показано, что ротор начинает разгоняться до тех пор, пока электростатические силы и силы трения в подшипниках и трения о воздух не уравновесятся. Визуальные наблюдения показывают, что разряд имеет фиолетовый цвет и состоит из стримеров, которые направлены от электродов в сторону противоположную движению ротора.

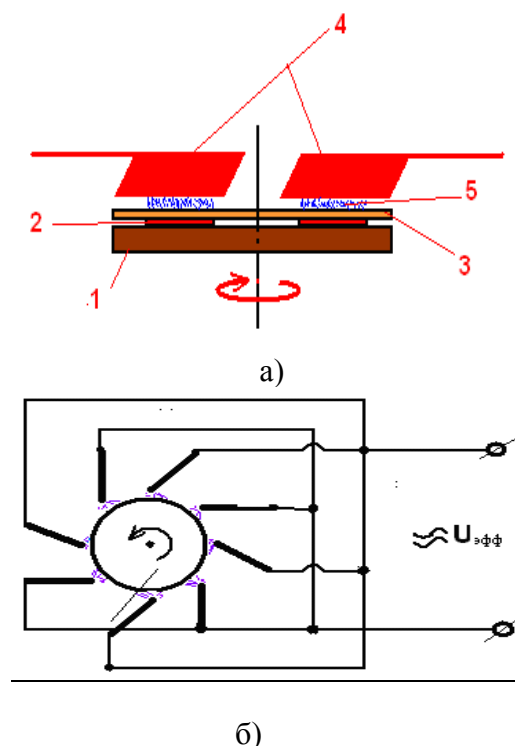


Рис. 1. а) БР на подвижном диэлектрике (вид сбоку); б) общий вид питания установки.

### 1.1. Электрическая схема определения частоты вращения ротора.

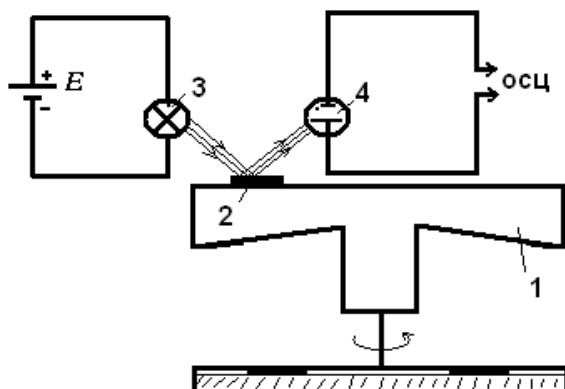


Рис. 2. Электрическая схема определения частоты вращения подвижного диэлектрика (ротора).

Частота вращения ротора определялась следующим образом, которая показана на рис. 2. На ротор 1 устанавливается зеркальце 2, которое отражает лучи от источника света 3 на фотоэлемент 4. На фотоэлементе вырабатывается ЭДС, фиксируемая на осциллографе и таким образом, зная время развёртки осциллографа, определяется частота вращения  $\nu$  ротора.

### 1.2. Регистрация циклограмм $q(U)$ вольткулоновской характеристики БР на подвижном диэлектрике.

Электрическая схема регистрации циклограмм  $q(U)$  приведена на рис.3.

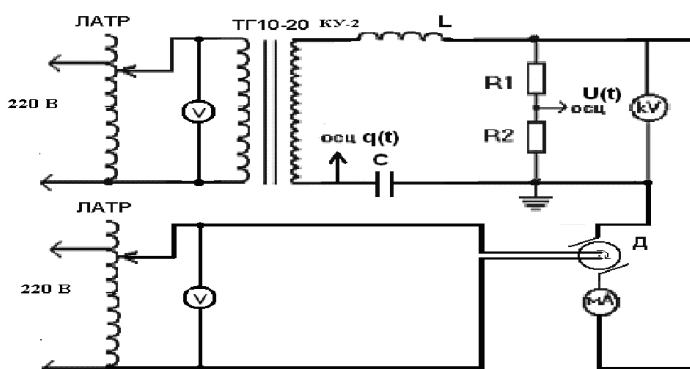


Рис. 3. Электрическая схема измерений. ЛАТР – лабораторный автотрансформатор РН, ТГ1020КУ-2 – высоковольтный трансформатор, L – встроенная индуктивность,  $K_d = R1/R2 = 346$  – делитель напряжения, C = 1,14мкф – измерительная ёмкость, Д – установка барьерного разряда на подвижном диэлектрике.

## 2. Результаты измерений и их анализ

### 2.1. Подбор напряжения для разряда.

Подбор напряжения для БР на подвижном диэлектрике при его принудительном вращении осуществлялся следующим образом: подавая высокое переменное напряжение на разряд  $U_{эф} = 9$  кВ увеличивали частоту принудительного вращения ротора и при частоте 25 Гц возникал пробой между электродами; поэтому, снизив напряжение до  $U_{эф} = 8,5$  кВ имели возможность увеличить частоту принудительного вращения до 45,5 Гц. Таким образом все измерения проводились при напряжении  $U_{эф} = 8,5$  кВ и частоте от 0,4 Гц до 45,5 Гц.

### 2.2. Определение частоты вращения (принудительного) ротора.

Частота вращения подвижного диэлектрика вычисляется формулой

$$\nu = \frac{1}{T}$$

Для этого измерив количество делений между двумя импульсами и умножив на показания осциллографа, определим период T вращения диэлектрика. Зависимость частоты вращения

подвижного диэлектрика от подаваемого на двигатель напряжения показана на рис. 4. При увеличении напряжения увеличиваются количество осевших на диэлектрик ротора зарядов, что приводит к росту кулоновского взаимодействия и соответственно увеличению частоты вращения ротора. Это с одной стороны, а с другой стороны с увеличением

напряжения увеличивается действие электрического ветра, которое должно уменьшать частоту вращения ротора [11]. Из рис. 4 видно, что с увеличением напряжения на двигателе до 160 В

частота вращения монотонно растет (линейно), а в области 160 -180 В она резко возрастает. Затем в интервале 180-200 В она насыщается.

Такой ход кривой в зависимости  $\nu = f(U_{\text{дв}})$ , видимо, объясняется следующим образом: в начале (90 -160 В) сильно сказывается трение на подшипниках, на который посажен закрепляющий винт вентилятора с диэлектриком. Затем в интервале напряжений от 160-180 В, где резко возрастает частота  $\nu$  вращения подвижного диэлектрика, трение в подшипниках уменьшается. А в области насыщения частоты (180-200 В) резко увеличивается трение о воздух вентилятора с диэлектриком. Следует отметить, что при напряжении 8,5 кВ частота автовращения ротора составляла 1,6 Гц [15], а при принудительном вращении ротора равна 45,5 Гц (см. рис. 4).

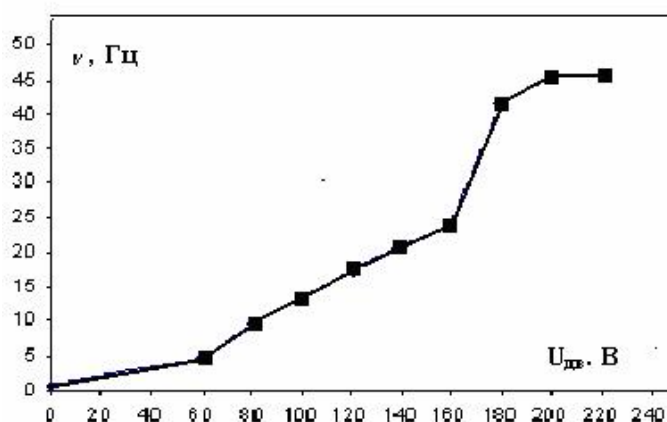
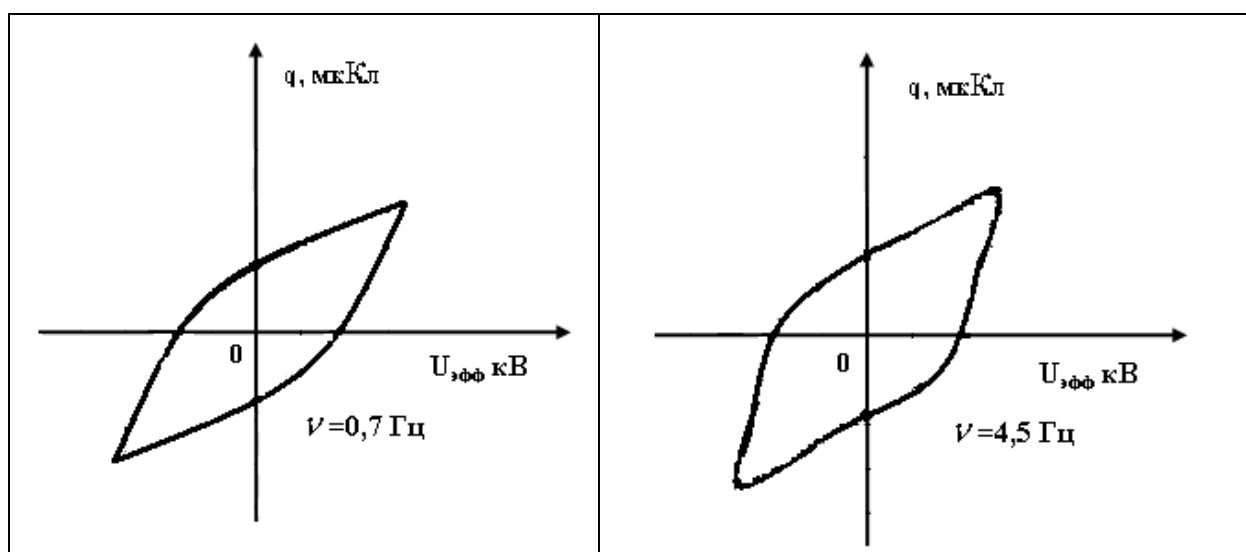
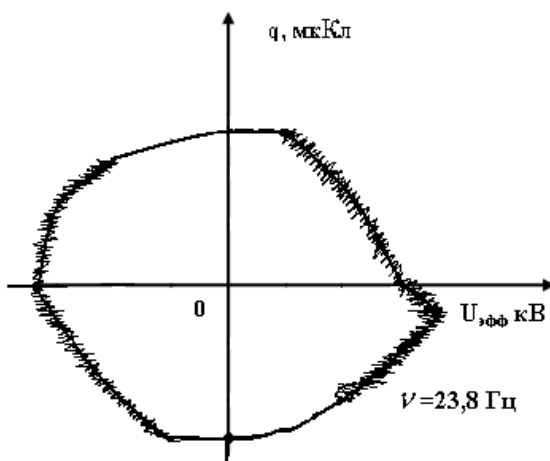
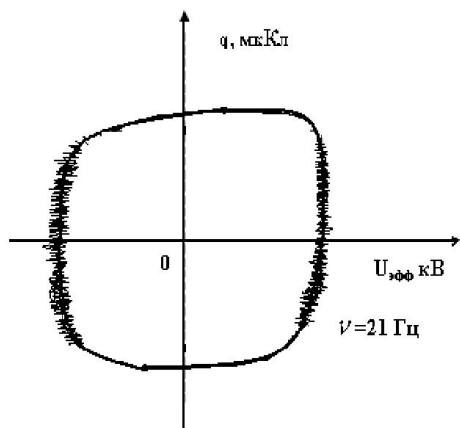
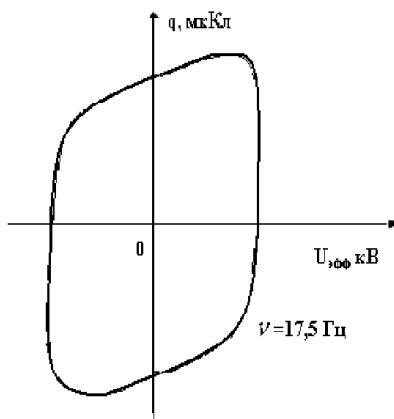
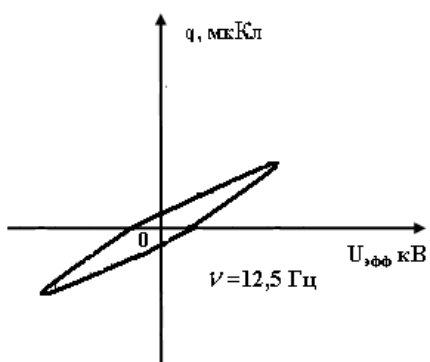
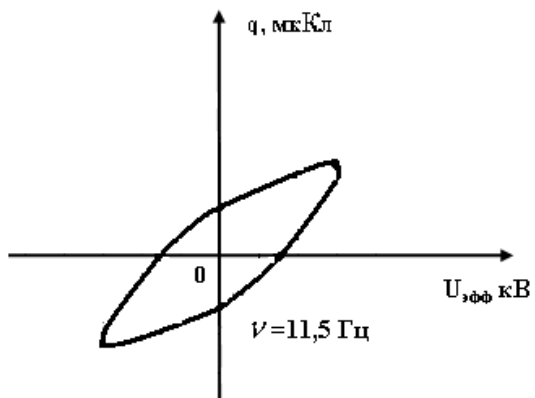
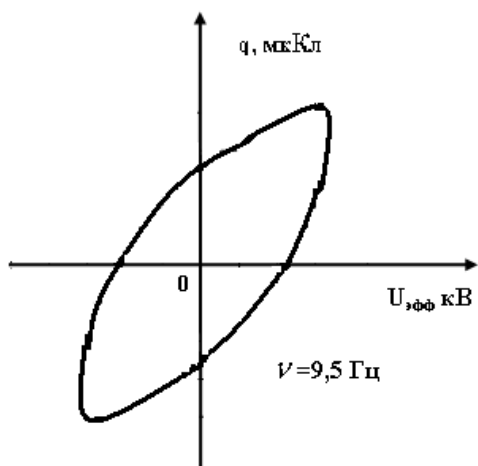


Рис. 4. Зависимость частоты вращения двигателя  $\nu = f(U)$  от напряжения.

### 2.3. Анализ и обработка циклограмм $q(U)$ БР.

На рис. 5. показаны замкнутые кривые «заряд-напряжение» - циклограммы БР на подвижном диэлектрике при фиксированном напряжении на разряде  $U_{\text{эфф}}=8,5$  кВ, при различных частотах принудительного вращения ротора. Видно что, при увеличении частоты  $\nu$  вращения ротора наблюдаются изменение площади циклограмм (см. рис. 5).





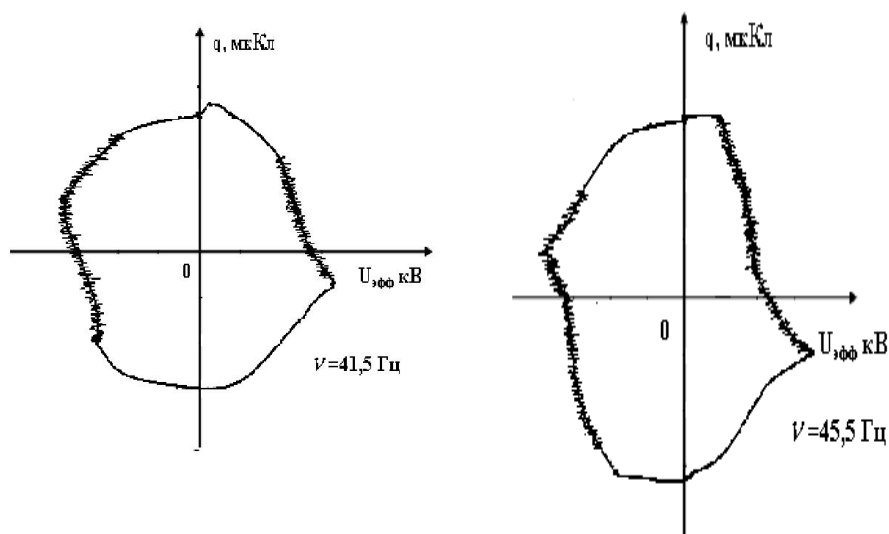


Рис. 5. Циклограммы БР на подвижном диэлектрике при принудительном вращении ротора.

Следует отметить что при частоте вращения подвижного диэлектрика  $\nu = 12,5$  Гц разряд исчезал, что было видно визуально, а также по снятой циклограмме (рис. 5). Из рис. 5 видно, что площадь этой циклограммы резко уменьшается. После дальнейшего повышения частоты вращения диэлектрика, площади циклограммы увеличивается

(см. рис. 5). Обращает на себя внимание вид циклограмм, поскольку здесь кроме активной мощности присутствуют реактивные мощности, поэтому формы циклограммы отличаются от круга. Методика обработки полученных циклограмм подробно описана в работе [15].

#### 2.4. Определение активной мощности $W_a$ БР из циклограмм.

По площади циклограмм были рассчитаны активная мощность БР на подвижном диэлектрике. По полученным данным построена зависимость  $W_a = f(\nu)$ , которая показана на рис. 6, и имеет нелинейный вид.

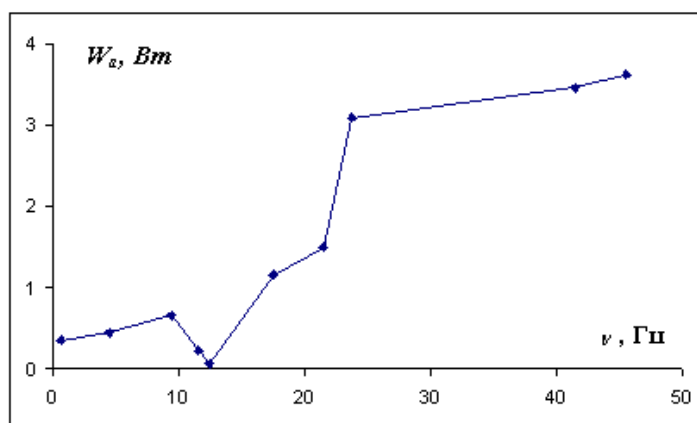


Рис.6. Зависимость  $W_a = f(\nu)$  БР на подвижном диэлектрике.

В интервале частот ротора от 0,7 Гц до 9,5 Гц,  $W_a$  разряда постепенно возрастает, а затем уменьшается. При частоте  $\nu = 12,5$  Гц активная мощность БР сильно уменьшается, и составляет 0,07 Вт, почти исчезает разряд (см. циклограммы рис. 5), так как ток разряда равен нулю. При дальнейшем увеличении частоты вращения диэлектрика от 12,5 Гц до 23,5 Гц  $W_a$  разряда резко возрастает, а затем от 25 Гц до 45,5 Гц наблюдается медленный рост  $W_a$ .

В целом с увеличением частоты вращения ротора, ток разряда увеличивается и соответственно мощность разряда растет и емкость увеличивается.

На основании выше изложенного можно сделать следующие выводы.

1. Сделан подбор напряжения на разряде для исследования ВКХ БР на подвижном диэлектрике, и оно равно  $U_{эфф}=8,5$  кВ.
2. С увеличением подаваемого напряжения на двигатель увеличивается частота вращения диэлектрика.
3. По площади снятых циклограмм  $q(U)$  впервые были рассчитаны мощность  $W_a$  барьерного разряда на подвижном диэлектрике.
4. Экспериментально выявлено, что при частоте вращения подвижного диэлектрика  $\nu=12,5$  Гц происходит «исчезновение» барьерного разряда.

*Авторы выражают глубокую благодарность профессору Энгельшту В.С. за постановку темы и полезные обсуждения.*

#### Литература:

1. В.Околотин. Что же изобретено? // Техника молодежи, № 9, 1982, С. 46-49.
2. В.Пасынков, Ю. Окунев. Что же изобретено? // Техника молодежи, №12, 1983. С. 41.
3. О.А.Журавлев, А.Л. Муркин, А.В. Федосеев. Исследование развития скользящего разряда на поверхности заряженного диэлектрика/ Мат. V конф. по физике газового разряда. Омск, 1990. Кн.1. С.178-179.
4. О.А.Журавлев, А.Л. Муркин. Формирование скользящего искрового разряда на подвижном подложке/Мат. V конф. по физике газового разряда. Омск, 1990. Кн. 1. С. 176-177.
5. О.А. Журавлев, А.И. Федосов. Некоторые особенности разряда в газовом промежутке с диэлектриком на подвижном диэлектрике/ Мат. VI конф. по физике газового разряда. Казань-1992. Ч.1. С.10-11.
6. О.А. Журавлев. Комбинированный скользящий разряд с потенциальным электродом. Мат. VI конф. по физике газового разряда. Казань, 1992. Ч.1. С. 93-93.
7. О.А. Журавлев, А.А. Шепеленко. Однородный поверхностный разряд в воздухе атмосферного давления/ Тезисы докл. VII конф. по физике газового разряда - Самара: СГАУ, 1994. С.78-79.
8. О.А. Журавлев. Устройство возбуждения объемного разряда в плотных газах.- Патент России 2030046. 28.02.95. Бюл. № 6.
9. О.А. Журавлев, А.И. Федосов. Моделирование электрофизических процессов в полосе свечения однородного поверхностного разряд/. Тезисы докл. VII конф. по физике газового разряда. – Рязань, 1996. С.122.
10. О.А. Журавлев, А.И. Федосов, А.В. Ивченко. Моделирование процесса выноса основания униполярного барьерного разряда в промежутке с подвижным электродом/ Тезисы докл. VII конф. по физике газового разряда. – Рязань, 1996. С.123-124.
11. А.В. Токарев, В.А. Юданов. //Электростатический двигатель// Бишкек: КРСУ, 2003. С. 7.
12. М.К. Боромбаев, Р.Р. Мамутов, А. Адырбеков. Электростатический двигатель при постоянном напряжении. //КТУ, Образование через науку. Мат. междуна. научно-техн. симпозиума. - Т.1. Бишкек, 2004. С. 277-280.
13. М.К. Боромбаев. Применение барьерного разряда в плазменной технологии//Вестник ИГУ, Каракол, 2005, № 13. С. 26-43.
14. Р.Р. Мамутов, М.К. Боромбаев. Электростатический двигатель// Вестник ИГУ, Каракол, 2006, № 15, С. 51-55.
15. Р.Р. Мамутов, М.К. Боромбаев. Барьерный разряд на подвижном диэлектрике при переменном напряжении// Вестник ИГУ, Каракол 2007, №19 С. 5-12.