

СЕКЦИЯ 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ВАКУУМЕ

Особенности полевой десорбции поверхностных газов ЭВП и развитие электрического пробоя между электродами

С.А. Вашин, Г.Ф. Корепин, Н.Н. Климова
АО «НПП «Исток» им. Шокина», РФ, 141190 Московская обл.,
г. Фрязино, ул. Вокзальная, д.2а
e-mail: info @ istok mw.ru

В работе рассмотрены особенности полевой десорбции, возможности ее дифференциации с другими видами десорбции газа. Показана критическая напряженность поля, при которой возникает полевая десорбция газа, которая увеличивается с уменьшением расстояния между электродами. Экспериментально определено, что полевая десорбция носит полярный характер и определяется количеством сорбированного газа поверхностями электродов, степенью миграции газа в объеме ЭВП и может отличаться до трех порядков для разных приборов одного и того же вида.

Features of field desorption of surface gases of EVD and development of electric breakdown between electrodes. S. A. Vashin, G. F. Korepin, N. N. Klimova. The paper considers the features of field desorption, the possibility of its differentiation with other types of gas desorption. The critical field strength is shown at which the field desorption of the gas arises. It is larger for small distances between the electrodes. It was determined experimentally that the field desorption is of a polar nature and is determined by the amount of sorbed gas by the surfaces of the electrodes, the degree of gas migration in the volume of the EVD, and can differ up to three orders of magnitude for a specific type of EVD.

В работах [1 - 15] отмечается, что вакуумному электрическому пробое между электродами предшествует возникновение токов автоэлектронной или порозэлектронной эмиссии, выделение материала электродов, газа с электродов, в том числе в виде ионов. В [16] показано, что возникновению пробоев предшествует появление десорбции газа после достижения критической величины напряженности электрического поля. Обнаруженная величина потока десорбированного газа по изменению тока встроенного в ЭВП магнитного электроразрядного насоса (НЭМ) может быть весьма малой ($2 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ Па/с}$). В работе также приведены данные о влиянии миграции газа на величину десорбции при возникновении пробоев после выдержки ЭВП в выключенном состоянии, но нет данных об особенностях влияния количества сорбированного газа поверхностями электродов на полевую десорбцию.

Поэтому представляет интерес изменение критической напряженности поля при изменении количества десорбированных газов, а также учет иных явлений в вакуумном объеме ЭВП, участвующих в процессах сорбции и десорбции. В [16] не показана зависимость потока десорбции от расстояний между электродами, и, соответственно, отличие его влияния на возникновение пробоев. Очевидно, что корреляция процессов десорбции и сорбции газа и их влияние на развитие пробоев между электродами является актуальной задачей.

Изменение динамики полевой десорбции газа от величины напряженности поля приведено на рис.1, а на рис.2 показан анализ кривых рис.1 по изменению величины напряжения, соответствующей одинаковой десорбции. Согласно рис.1 полевая десорбция газа до возникновения пробоя нарастает быстрее, чем после пробоя, причем кривая десорбции после пробоя сдвигается в сторону более высокой напряженности поля, следовательно, и возникновение следующего пробоя будет происходить при более высокой напряженности поля (расстояние между сеткой и катодом равно 0,55 мм.). Следует отметить, что в ЭВП после откачки давление остаточных газов было ниже 10^{-6} Па.

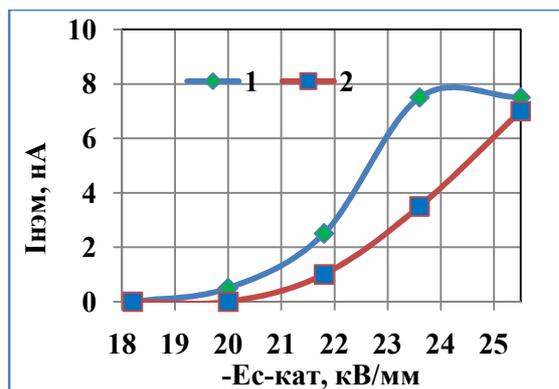


Рис.1. Изменение тока НЭМ между сеткой и катодом (1-до пробоя, 2-после пробоя).

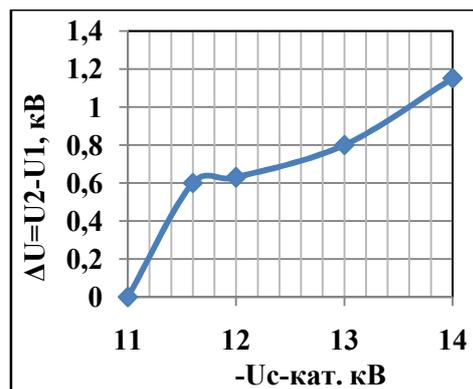


Рис.2. Рост напряжения между сеткой и катодом после пробоя при одинаковой величине десорбированного газа.

Изменение потока десорбированного газа для ЭВП, который имеет натекание, отличается от прибора без течи (рис.3) на величину потока натекающего газа. Критическая напряженность поля, при которой возникает полевая десорбция, у натекающего ЭВП существенно ниже. Очевидно, что количество сорбированного газа натекающего ЭВП много больше, чем ЭВП без течи, поэтому десорбция газа натекающего ЭВП происходит при более низких напряженностях поля.

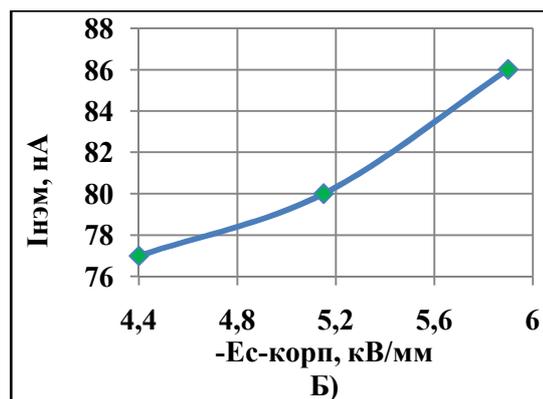
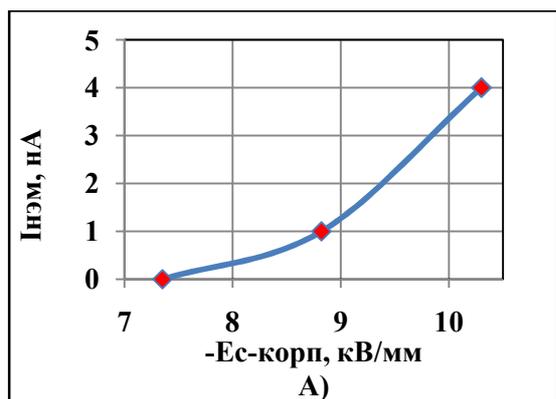


Рис.3. Изменение тока НЭМ от напряженности поля между сеткой и анодом (А – течь в приборе отсутствует; Б – течь в приборе равна $1,05 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3 \text{ Па/с}$).

Изменение десорбции газа при выдержке ЭВП в различных условиях сорбции также должно отличаться, причем особенное отличие характерно для приборов, у которых один из электродов является материалом с большой сорбционной емкостью. Поступление газа из внутренних резервов пористого сорбционного материала имеет свои особенности при воздействии электрического поля, что и представлено на рис.4.

Из графиков рис. 4 следует, что произошло изменение количества сорбированного газа после выдержки ЭВП при выключенных напряжениях в течение одних суток. Такое поведение может быть обусловлено перемещением газа внутри ЭВП, что изменяет количество сорбированного электродами газа. По-видимому, величина тока утечки по изолятору между электродами также влияет на величину десорбции газа. Поэтому возникает проблема определения доли десорбированного газа, которая происходит из чисто полевой десорбции по отношению к другим воздействующим факторам, инициирующим десорбцию, например, при нагреве ЭВП или при воздействии тока автоэлектронной и полевой эмиссии. Эти проблемы в дальнейшем должны стать предметом отдельных исследований.

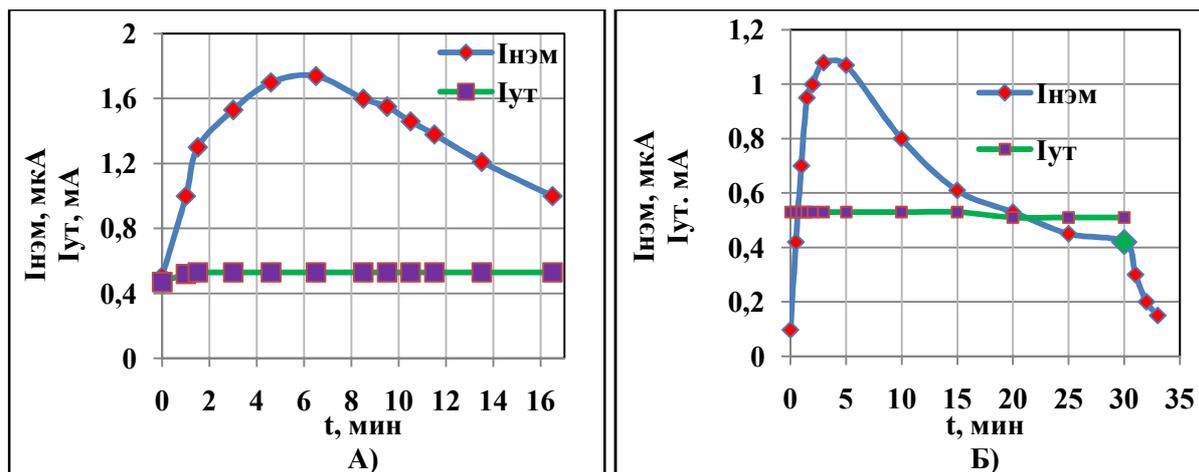


Рис.4. Изменение десорбции газа и тока утечки между сеткой и катодом
 ($-E_{СК} = 21,8$ кВ/мм)
 А- до выдержки ЭВП при отключенных напряжениях,
 Б- после выдержки в течение одних суток.

Десорбция газа, причиной которой является возникновение тока автоэлектронной эмиссии, приведена на рис. 5, где катод также как и в предыдущем случае (рис.4) насыщен газом, причем, как показали детальные исследования, насыщающим газом является водород. Здесь наряду с изменением тока НЭМ показано и изменение тока утечки между электродами сетка и корпус (анод) ЭВП. Очевидно, что до напряженности 4,5 кВ/мм на первоначальном участке изменения тока НЭМ рост тока обусловлен полевой десорбцией газа, а при больших напряженностях поля начинает проявляться полевая эмиссия электронов, под воздействием которой и происходит более резкое возрастание тока НЭМ. Это подтверждается тем, что при обратной полярности напряжения десорбция газа в пределах точности измерений не зафиксирована, а величина тока утечки меньше 0,05 мА и определяется в основном током утечки источника питания. Следовательно, микродесорбция газа электродов зависит от полярности приложенного напряжения между электродами.

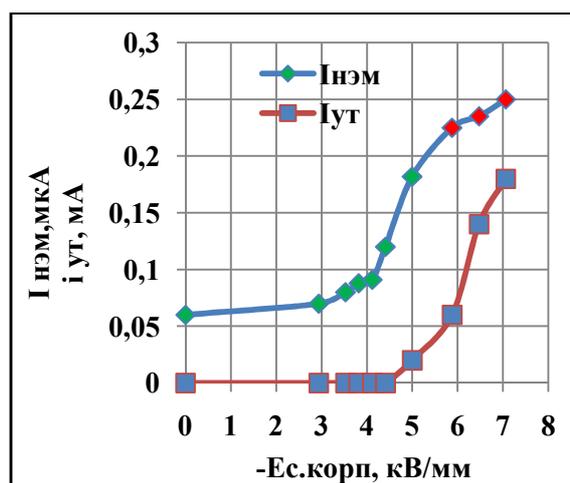


Рис.5. Десорбция газа и изменение тока утечки между сеткой и корпусом ЭВП
 (катод насыщен газом).

Таким образом, исследование полевой десорбции требует определения четкой градации по причине появления десорбции газа и по определению источника газовыделения.

Выводы

1. Возникновению электрических пробоев в вакууме между электродами ЭВП предшествует микродесорбция газа под действием величины электрического поля выше критической;
2. Критическая напряженность электрического поля, при которой появляется десорбция газа для не тренированного ЭВП, 4,4 - 5,3 кВ/мм, для тренированного прибора – 7,4 кВ/мм исследованной конфигурации электродов, материалов и имеющейся их шероховатости и степени обезгаживания ЭВП;
3. Критическая напряженность, при которой возникает десорбция газа, зависит от полярности приложенного поля; она больше для малых расстояний между электродами;
4. Для ЭВП, прошедших высоковольтную тренировку, микродесорбция газа при постоянном напряжении между сеткой и катодом не изменяется в пределах напряженностей электрического поля до 22 кВ/мм при времени выдержки до 30 минут;
5. Для ЭВП, не прошедших высоковольтную тренировку, ход кривой микродесорбции газа во времени зависит от напряженности поля, причем десорбция имеет место при меньших напряженностях, чем для ЭВП, прошедших тренировку;
6. Насыщенность поверхностей электродов газами зависит от времени выдержки;
7. Миграция газа в вакуумном объеме тренированного ЭВП и повышенное давление газа этого объема приводит к росту вероятности возникновения пробоев;
8. Для ЭВП с малым уровнем натекания или с повышенным уровнем поглощенного газа электродами ЭВП, полевая десорбция газа может увеличиваться более чем на 2 порядка по сравнению с ЭВП с высокими вакуумными условиями;
10. Для снижения вероятности возникновения пробоев необходимо:
 - снижать действие обратного потока газов в процессе откачки;
 - повышать класс чистоты обработки не только электродов ЭВП, но и других деталей вакуумного объема;
 - снижать давление газа вакуумного объема отпаянного ЭВП, сокращая воздействие сорбированных газов обратного потока после предшествующего процесса откачки и обезгаживания;
 - ввести новые критерии ввода в эксплуатацию ЭВП после длительного хранения с учетом явлений переноса и сорбции газов.

Литература

1. Татарина Н.В. Вакуумная электроизоляция (обзор) // Вакуумная техника и технология. – 2003. – Т. 13. – № 1. – С. 3–28.
2. Новоселец В.И. О вакуумных пробоях в многолучевых мощных пролетных клистронах на высшем и основном виде колебаний // Электронная техника. Сер.1. СВЧ - техника.– 2008. – № 2. – С. 53–61.
3. Черепнин Н.В. Сорбционные явления в вакуумной технике. – М.: Советское радио, 1973. – С. 384.
4. Татарина Н. В. Влияние процессов в порах поверхностей электродов на вакуумную электроизоляцию: дисс. доктора физико-математических наук. – М.: МИФИ. – 1998. – С. 303.
5. Латам Р. Вакуумная изоляция установок высокого напряжения. //Лондон – 1981 – перевод с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – С. 187.
6. Сливков И.Н. Электрический пробой и разряд в вакууме. – М.: Атомиздат, 1966. – С.298.
7. Корепин Г.Ф. Термовакuumная обработка электронной пушки и вероятность электрических пробоев высоковольтных ЭВП // Вакуумная техника и технология. – 2007. – Т.17, № 2. – С.123–130.
8. Татарина Н.В., Новиков Н.Е., Соколов В.С., Волков Н.В., Воробьев В.Л. Эрозионно-эмиссионные процессы, индуцированные плазмой в микропорах поверхности // Известия РАН. – Серия физическая. – 1992. – Т.16, № 7. – С. 65–66.
9. Чистяков П.Н., Радиановский А.Л., Татарина Н.В., Новиков Н.Е., Трещикова Д.С. Пробой вакуума при контролируемом состоянии поверхностей электродов // Журнал технической физики. – 1972. – Т.XL11, № 4. – С. 821–825.

10. Розанов Л.Н. Десорбционное газовыделение конструкционных вакуумных материалов // Вакуумная техника и технология. – 2011. – Т.21, № 2. – С. 143–150.
11. Корепин Г.Ф., Пугнин В.И., Юнаков А.Н. Определение источника газовыделения в процессе высоковольтной тренировки ЭВП // Научные технологии – 2005. – Т.6, № 5. – С.47–50.
12. Розанов Л.Н. Десорбционное газовыделение вакуумных систем // Вакуумная техника и технология. – 2004. – Т.14, № 2. – С. 205–211.
13. Водяницкий В.И., Корепин Г.Ф., Климова Н.Н., Суходолова Н.И., Стефаненко А.А. Предварительная высоковольтная тренировка ЭВП СВЧ среднего уровня выходной мощности // Тезисы докладов Всероссийского семинара «Вакуумная техника и технология-2002». – Санкт-Петербург. – 2002. – С. 14-15.
14. Корепин Г.Ф. Поверхностное газосодержание отпаянных ЭВП // Вакуумная техника и технология. – 2007. – Т.17, № 4. – С. 285 – 292.
15. Корепин Г.Ф., Юнаков А.Н. Стоки и истоки поверхностных газов отпаянных ЭВП // Вакуумная техника и технология. – 2010. – Т.20, №2. – С.71–76.
16. Вашин С.А., Корепин Г.Ф., Климова Н.Н., Коломийцев А.И., Арион О.А., Смирнов В.А. Полевая десорбция поверхностных газов ЭВП и развитие электрического пробоя между электродами // Материалы 23 научно-технической конференции «Вакуумная наука и техника». – Крым, Судак. – 2016. – С. 24 – 28.

Физическое моделирование условий возникновения катодного пятна в вакуумном разряде

В.И. Асюнин, С.Г. Давыдов, А.Н. Долгов, А.В. Корнеев, А.А. Пшеничный, Р.Х. Якубов
ВНИИА им. Н.Л. Духова, Россия, 127055, Москва, ул. Суцёвская, д.22.
e-mail: yniia@yniia.ru

Выполнено натурное моделирование тепловых процессов в центрах взрывной электронной эмиссии на катоде искрового разряда методом воздействия импульса оптического излучения наносекундной длительности на поверхность металлической мишени при сравнимой плотности потока энергии.

Physical modeling of conditions of cathode spots occurrence in vacuum discharge. V.I.Asunin, S.G.Davydov, A.N.Dolgov, A.V.Korneev, A.A.Pshenichny, R.H.Yakubov. Field modeling of thermal processes in the centers of explosive electron emission is completed at the cathode of a spark discharge by the impact of impulse optical radiation of nanosecond duration on the surface of a metallic target at a comparable flux density of energy.

Основное свойство вакуумной искры и дуги – наличие катодного пятна. Предпробойные процессы, согласно эктонной концепции, приводят к концентрации потока энергии на поверхности катода до такой степени, что становится возможным тепловой взрыв микроскопического участка поверхностного слоя материала катода, т.е. электрический взрыв проводника под действием токов термо- и автоэмиссии электронов с поверхности катода. Центры взрывной электронной эмиссии или эктоны образуют элементарные ячейки катодного пятна. В дальнейшем, при условии достаточной мощности источника тока, происходит постоянное возобновление микровзрывов и появление новых короткоживущих центров взрывной электронной эмиссии. Искровая стадия разряда переходит в дуговую вследствие переключения межэлектродного промежутка потоками катодной и анодной плазмы [1,2].

При использовании наносекундных импульсов, что примерно соответствует времени жизни отдельно взятого эктона, в специально осуществленных экспериментах