

10. Кутепов А.М., Захаров А.Г., Максимов А.И. // ДАН. 1997. Т. 357. № 6. С. 782–786.
11. Бугаенко Л.Т., Кузьмин М.Г., Полак Л.С. Химия высоких энергий. М., 1988.
12. Пикаев А.К., Кабакчи С.А. Реакционная способность первичных продуктов радиолиза воды. М., 1982.
13. Шамб У., Семтерфилд Ч., Вентворс Р. Перекись водорода. М., 1958. С. 373–429.
14. Хлюстова А.В., Максимов А.И. // Электронная обработка материалов. 2002. № 5. С. 35–40.
15. Davies R.A., Hickling A. // J. Chem. Soc. 1952. P. 3595–3602.
16. Denaro A.R., Hough K.O. // Electrochim. Acta. 1972. V. 17. № 3. P. 549–559.
17. Sengupta S.K., Sighn O.P. // Journal of electroanalytical chemistry. 1994. V. 369. № 1/2. P. 113–120.

Поступила 29.12.03

Summary

The aim of this study was to investigate the hydrogen peroxide formation in aqueous solutions under the action of glow discharge of atmospheric pressure in dependence on composition of solution and gas phase, pH and discharge current. The kinetics of formation and main characteristics of the process were shown to be close to those for the low pressure discharge. The influence of processes initiated by the discharge at the kinetics of peroxide formation was analyzed, including the transfer of solution components into gas phase. It was shown that properties of electrolyte solution in the active zone, formed by the action of ion bombardment in the cathode spot area, play the key role.

Т.И. Шахтагинский

О ВЛИЯНИИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРОДОВ НА РАЗРЯДНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ГАЗОВ ПРИ БОЛЬШИХ ДАВЛЕНИЯХ

*Азербайджанская государственная нефтяная академия,
пр. Азадлыг, 20, г. Баку, Az1010, Азербайджан*

Анализ экспериментальных данных о пробивных напряжениях в различных газах под давлением показывает, что с увеличением давления газа между плоскопараллельными электродами в области больших давлений наблюдается отклонение прямолинейности характеристики зависимости разрядного напряжения от давления: рост пробивного напряжения замедляется [1–3]. В настоящее время причиной наблюдаемого отклонения от закона подобия разрядов в газах считают влияние микроскопических шероховатостей на поверхности электродов на начальной стадии развития разряда. При этом действие шероховатостей при больших давлениях (соответственно при больших напряженностях) связывают с интенсификацией автоэлектронной эмиссии с поверхности катода [4, 5], или возрастанием удельного значения столкновений частиц, попадающих в зону локально усиленных полей микроскопических выступов [3, 6, 7].

В настоящее время с целью уменьшения влияния микровыступов на электрическую прочность газов при повышенных давлениях поверхность электродов покрывается тонким слоем оксидной, полиэтиленовой изоляции или тонким слоем оксидной пленки [8, 9]. Однако из литературы [8, 10] известно, что в большинстве случаев наблюдается обратное явление: при больших давлениях газа разрядное напряжение между электродами с покрытой поверхностью оказывается меньше, чем у непокрытых электродов.

Эксперименты методом моделирования условия, при котором возрастает удельная роль микровыступов на поверхности электродов в ионизационном процессе газового разряда при повышен-

ных давлениях, позволили в определенную ясность в явление, кажущееся на первый взгляд “парадоксальным”.

Для количественной оценки влияния шероховатости на поверхности плоскопараллельных электродов на значение пробивного напряжения в работе [3] предполагается, что на поверхности катода имеется выступ в виде полуэллипсоида вращения (рис. 1).

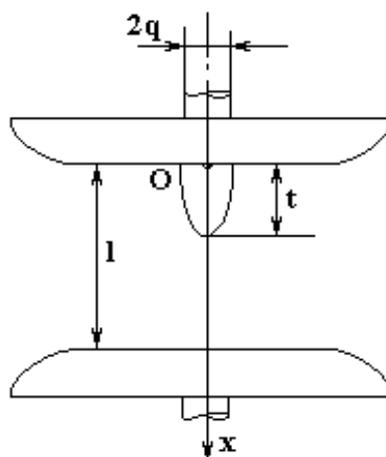


Рис.1. Система электродов полуэллипсоид вращения на плоскости–плоскость. t и q – большая и малая полуоси эллипса; l – расстояние между электродами

Такая система электродов называется полуэллипсоид вращения на плоскости–плоскость. Зная изменение напряженности электрического поля E вдоль центральной силовой линии в функции межэлектродного расстояния l и размеров большой и малой полуосей эллипса t и q и пользуясь условием самостоятельности разряда и параболической аппроксимацией для зависимости $\alpha/p = f(E/p)$, где α – коэффициент ударной ионизации, p – давление газа, авторы [3] определяют разрядное напряжение промежутка U_p в функции pl .

На рис.2 представлены относительные расчетные значения разрядного напряжения воздуха в промежутке электродов полуэллипсоид вращения на плоскости–плоскость в функции pl при постоянном значении $l = 5 \cdot 10^{-3}$ м и параметров выступа $t = 2 \cdot 10^{-5}$ м, $t/q = 2,5$, взятой из [3] (сплошная кривая).

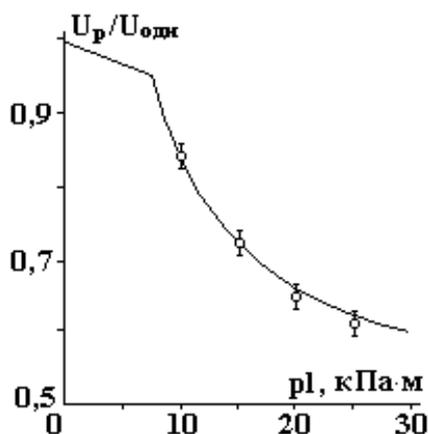


Рис. 2. Относительные значения разрядного напряжения воздуха в промежутке электродов полуэллипсоид вращения на плоскости–плоскость” в зависимости от произведения давления P и межэлектродного расстояния $l = 5 \cdot 10^{-5} = \text{const}$ ($t=2 \cdot 10^{-3}$ и $t/q = 2,5$). Точки экспериментальные. Вместо увеличения давления пропорционально увеличилась высота выступа t при $P=10^5 \text{ Па} = \text{const}$. Напряжение – переменное с частотой 50 Гц

Расчетная кривая взята за основу для моделирования условия, при котором возрастает удельная роль микровыступов в ионизационном процессе при повышенных давлениях газа. Например, согласно рассматриваемой кривой зависимости $U_p / U_{одн} = f(pl)$ значению $pl = 15 \text{ кПа} \cdot \text{м}$ при $l = 5 \cdot 10^{-3}$ м

соответствует $p = 30 \cdot 10^5 \text{ Па}$, то есть 30 атм. Тогда при атмосферном давлении высота выступа на поверхности электрода, при условии сохранения постоянства числа столкновений частиц, попадающих в зону усиленного поля микровыступа с высотой 20 мкм, должна составлять $t = 20 \cdot 30 = 600 \text{ мкм}$.

Эксперименты проводились следующим образом. В центральной части одного из плоскопараллельных электродов с закругленными краями диаметром 55 мм в открытую щель вставлялся выступ в виде полуэллипсоида вращения из стали. Для сохранения соотношения $t/q \approx 2,5$ при различных значениях t диаметр щели в центральной части электрода изменялся согласно размеру малой оси выступа $2q$. При постоянном межэлектродном расстоянии $l = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ для каждого значения t и $t/q \approx 2,5$ определялись разрядные напряжения промежутка в воздухе при переменном напряжении. В качестве источника высокого переменного напряжения использована испытательная установка АИМТИ-60. Напряжение измерялось с помощью омического делителя напряжения и астатического вольтметра с классом точности 0,5. Скорость подъема напряжения составляла 1–2% в секунду от ожидаемого значения пробивного напряжения. Следует отметить, что при этом наблюдались большие разбросы в значениях измерений – до 20% от среднеарифметического. После обработки не менее 15 измерений для каждого U_p значения $U_p/U_{одн}$ с доверительной вероятностью 95% приведены на рис. 2 для соответствующих значений. В диапазоне давлений экспериментальные точки в пределах доверительного интервала хорошо согласуются с расчетной кривой зависимости $U_p/U_{одн} = f(pl)$.

Полученные результаты не только убедительно подтвердили идеи, заложенные в основу интерпретации механизма влияния микрошероховатостей поверхности электродов на разрядное напряжение газов при больших давлениях, но и способствовали более подробному исследованию путей устранения влияния микровыступов на U_p в облегченных условиях эксперимента – в условиях атмосферного давления.

Эксперименты по вышеизложенной методике показали, что если металлический выступ остается под диэлектрическим покрытием, электрическая прочность воздуха между плоскопараллельными электродами поднимается до значения, соответствующего U_p между электродами без выступа.

Эксперименты проводились следующим образом. При постоянном межэлектродном расстоянии $l = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ (без учета t) для различных значений t определялись разрядные напряжения промежутка в воздухе при переменном напряжении. Результаты с доверительной вероятностью 95% в виде зависимости $U_p = f(t)$ представлены на рис. 3 (кривая I, точки 1).

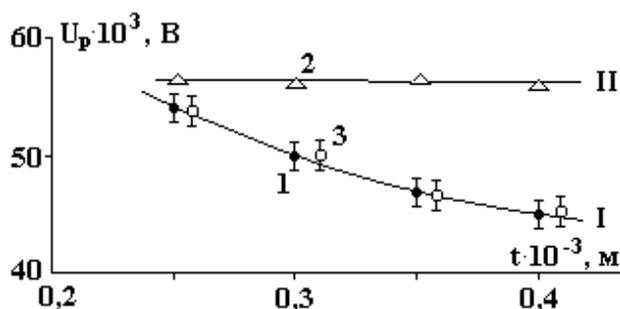


Рис. 3. Разрядное напряжение U_p между электродами полуэллипсоид вращения на плоскости-плоскость в зависимости от высоты выступа t . 1 – электрод с выступом без покрытия; 2 – с эпоксидным покрытием; 3 – на поверхности покрытия выступ из эпоксида. Расстояние между электродами $2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$; $t/q \approx 2,5$; напряжение переменное – 50 Гц

Эксперименты проводились и с нанесением на поверхность электродов с полуэллипсоидальным выступом диэлектрического покрытия из эпоксидного компаунда ЭД-5. При этом выступ полностью исчезал под покрытием. Значения U_p определялись как среднеарифметическое из результатов пяти измерений. Разбросы U_p не превосходили 3% от среднеарифметического значения. Результаты эксперимента приведены на рис. 3 (кривая II, точки 2). U_p между электродами полуэллипсоидальный выступ на плоскости–плоскость при наличии над выступом диэлектрического покрытия увеличивается до значения U_p между плоскопараллельными электродами без выступа.

Предполагалось, что аналогично роли металлических выступов в отклонении от прямолинейности характеристики $U_p = f(pl)$ играют роль диэлектрические выступы (шероховатости) на поверхности изоляционного покрытия. Для подтверждения предположения после нанесения диэлектрического покрытия на центральной части поверхности электрода устанавливался полуэллипсоидальный

выступ из материала покрытия. Результаты экспериментов, проведенных по вышеизложенной методике, показали, что при наличии на поверхности покрытия диэлектрического выступа полуэллипсоидальной формы с теми же параметрами, что и металлический, U_p газа снижается до уровня U_p промежутка электродов с выступом без покрытия (кривая 1, точки 3). Это свидетельствует о том, что причиной относительного снижения U_p с повышением давления между электродами с покрытой поверхностью является наличие на поверхности диэлектрического покрытия микровыступов, которые практически могут быть более крупных размеров, чем металлические выступы на полированной металлической поверхности.

Выводы

1. При нанесении диэлектрического покрытия на поверхность электродов, если металлические выступы, имеющиеся на поверхности электродов, остаются под покрытием, – электрическая прочность газа между электродами достигает значения, соответствующего прочности между теми же электродами без выступов.

2. При наличии на поверхности покрытия диэлектрического выступа с теми же параметрами, что и металлический, разрядное напряжение снижается до уровня разрядного напряжения промежутка электродов с выступами без покрытия.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Сканави Г.И.* Физика диэлектриков (область сильных полей). М., 1958.
2. *Мик Дж., Крегс Дж.* Электрический пробой в газах / Пер. с англ. М., 1960.
3. *Разевиг Д.В., Соколова М.В.* Расчет начальных и разрядных напряжений газовых промежутков. М., 1977.
4. *Левитов В.Н., Ляпин А.Г., Щербина О.В.* О влияние тренировки электродов разрядами на напряжение пробоя и перекрытия в однородном поле // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. 1969. № 2. С. 130–133.
5. *Авилов Э.А., Белкин Н.В.* Электрическая прочность азота и водорода при больших давлениях // ЖТФ. 1974. Т. 44. № 12. С. 2620–2622.
6. *Авруцкий В.А.* Влияние шероховатости электродов на пробивное напряжение и их разброс // Там же. 1973. Т. 43. № 4. С. 620–627.
7. *Шахтактинский Т.И.* Оценка влияния неоднородности, обусловленной шероховатостью поверхности электрода, на напряжение зажигания разряда в газе при больших давлениях // Известия вузов и энергетических объединений СНГ. Энергетика. 1997. № 1–2. С. 54–57.
8. *Полтев А.И.* Конструкция и расчет электрогазовых аппаратов высокого напряжения. Л., 1979.
9. *Borin V.N., Bortnik I.M.* Dielectric coatings for gas insulated high voltage equipment // IEE 6-th Intern. Conf. Gas Discharges. London, 1980. P. 208–211.
10. *Rein A., Kulsetas T.* Impulse breakdown of SF₆/N₂ insulation. Influence of electrode covering. Polarity effect // Gaseous Dielectr. III. 1982. New York: Pergamon Press. P. 315–321.

Поступила 07.01.04

Summary

The influence of microroughness on electric strength of gases at the increased pressures was confirmed experimentally. It is shown that the presence of both conductive and dielectric microprotuberances on the surface of electrodes leads to the increase of discharge gap.
